

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Stjepić

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof.dr.sc. Damir Dović, dipl. ing.

Student:

Ivan Stjepić

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru Prof.dr.sc Damiru Doviću na ukazanom znanju i pruženoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

Također, zahvaljujem svojim roditeljima na velikoj podršci za sve vrijeme mogega školovanja.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum 5 - 11 - 2015	Prilog
Klasa: 602-04/15-6/3	
Ur.broj: 15-1703-15-378	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Stjepić**

Mat. br.: 0035177553

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **Konstrukcija uređaja za uparivanje soka rajčice**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **Design of tomato juice evaporator**

Opis zadatka:

Potrebno je konstruirati uređaj za uparivanje svježeg soka rajčice pri odabranoj temperaturi. Uređaj izvesti kao dvostupanjski slijedećih karakteristika:

- kapacitet uređaja: 900 kg/h ugušćenog soka
- početna koncentracija: 7% suhe tvari
- konačna koncentracija: 30% suhe tvari
- pogonska energija: zasićena vodena para parametara prema izboru, električna energija 400 V/50 Hz
- rashladna voda 25°C,

Potrebno je provesti i izraditi:

- analizu potrošnje energije po 1 kg proizvoda varirajući temperaturu uparivanja, broj stupnjeva i međukoncentracije te primjenjujući mjere za uštedu energije poput predgrijavanja svježe otopine
- potpuni termodinamički proračun svih elemenata uređaja, pri čemu treba predvidjeti jednake uparivačke jedinice 1. i 2. stupnja
- potrebne proračune čvrstoće uparivača
- dispozicijski nacrt uređaja
- radionički crtež uparivača
- shemu spajanja, automatske regulacije i upravljanja

Potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

24. rujna 2015.

Rok predaje rada:

26. studenog 2015.

Predviđeni datumi obrane:

2., 3. i 4. prosinca 2015.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Damir Dović

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS TABLICA.....	III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD.....	1
2. ANALIZA SUSTAVA UPARIVANJA	3
2.1. Analiza sustava uparivanja u odnosu na broj stupnjeva.....	3
2.1.1. Uparivanje u jednom stupnju	3
2.1.2. Uparivanje u jednom stupnju s iskorištavanjem supare	6
2.1.3. Uparivanje u dva stupnja.....	9
2.1.4. Uparivanje u tri i četiri stupnja.....	13
2.2. Analiza sustava uparivanja u odnosu na odabranu međukoncentraciju	15
3. TERMODINAMIČKI PRORAČUN UPARIVAČKIH JEDINICA 1. I 2. STUPNJA.....	20
3.1. Shema postrojenja za uparivanje soka od rajčice.....	20
3.2. Tehnički opis	21
3.3. Proračun 1. stupnja uparivanja	22
3.3.1. Bilanca mase i energije	22
3.3.2. Proračun izmjenjivača topline 1. stupnja	25
3.3.2.1. Na strani koncentrata.....	25
3.3.2.2. Na strani pare	28
3.4. Proračun 2. stupnja uparivanja	33
3.4.1. Bilanca mase i energije	33
3.4.2. Proračun izmjenjivača topline 2. stupnja	35
3.4.2.1. Na strani koncentrata.....	35
3.4.2.2. Na strani pare	37
4. PRORAČUN BAROMETRIČKOG KONDENZATORA	39
4.1. Proračun barometričke cijevi	40
4.2. Odabir Rootovog puhala	41
5. PRORAČUN ČVRSTOĆE IZMJENJIVAČA TOPLINE	42
5.1. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju unutrašnjeg tlaka	42
5.2. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju vanjskog tlaka	44
5.3. Proračun podnica.....	46
5.4. Proračun cijevne stijenke	48
5.5. Proračun ravne priрубnice za zavarivanje	51
5.6. Proračun vijaka.....	53

6. PRORAČUN SEPARATORA	56
6.1. Proračun konusnih plaštova izvrgnutih unutrašnjem ili vanjskom tlaku	56
6.2. Proračun izreza na konusnom plaštu	58
6.3. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju vanjskog tlaka	59
6.4. Proračun podnice 1. stupnja	61
6.5. Proračun podnice 2. stupnja	64
7. PRORAČUN PRIKLJUČAKA	67
7.1. Proračun priključaka za izmjenjivač topline	67
7.2. Proračun priključaka za separator	69
8. PRORAČUN PADA TLAKA	70
8.1. Prvog stupnja.....	70
8.1.1. Na tlačnoj strani	70
8.1.2. Na usisnoj strani	72
8.2. Drugog stupnja	74
8.2.1. Na tlačnoj strani	74
8.2.2. Na usisnoj strani	76
9. ZAKLJUČAK.....	78

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Analiza po stupnjevima uparivanja	12
Tablica 2.	Uparivanje u odnosu na međukoncentraciju.....	14

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

IS-01-2015	Plast
IS-02-2015	Prirubnica izmjenjivača
IS-03-2015	Cijevna stijenka
IS-04-2015	Cijevni priključak
IS-05-2015	Cilindar za prirubnicu
IS-06-2015	Držać pregrada - duži
IS-07-2015	Pregrada u platu - gornja
IS-08-2015	Inox cijev
IS-09-2015	Podnica
IS-10-2015	Pregrada
IS-11-2015	Priključak ulaska pare
IS-12-2015	Priključak kondenzata
IS-13-2015	Držać pregrada - kraći
IS-14-2015	Pregrada u platu - donja
IS-15-2015	Inox cijev – držać kraći
IS-16-2015	Inox cijev – držać duži
IS-17-2015	Izmjenjivač topline
IS-18-2015	Separator
IS-19-2015	Shema
IS-20-2015	Dispozicija uređaja

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
φ		Kut konusa
ψ		Kut otklona
λ		Koeficijent trenja
λ		Stupanj vitkosti
ζ		Koeficijent lokalnog gubitka
α	$\frac{W}{m^2K}$	Koeficijent prijelaza topline
ζ_u	$\frac{kg_{tvari}}{kg_{otopine}}$	Koncentracija suhe tvari soka na ulazu
ζ_i	$\frac{kg_{tvari}}{kg_{otopine}}$	Koncentracija suhe tvari soka na izlazu
ζ_x	$\frac{kg_{tvari}}{kg_{otopine}}$	Međukoncentracija suhe tvari soka
ϑ	$^{\circ}C$	Temperatura
λ	$\frac{W}{mK}$	Koeficijent toplinske provodnosti
μ	$Pa \cdot s$	Dinamička viskoznost
ρ	$\frac{kg}{m^3}$	Gustoća
Φ	W	Kapacitet izmjenjivača
A	m^2	Površina presjeka
c	$\frac{J}{kgK}$	Specifični toplinski kapacitet
c_1	m	Dodatak za dopušteno odstupanje materijala
c_2	m	Dodatak zbog smanjenja debljine lima
D_s	m	Vanjski promjer plašta
D_u	m	Unutrašnji promjer plašta

d_v	m	Vanjski promjer cijevi
d_u	m	Unutrašnji promjer cijevi
E	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Modul elastičnosti
F_K	N	Dozvoljena sila izvijanja
F_{RB}	N	Sile u vijku
f_d	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Proračunska čvrstoća
g	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	Ubrzanje sile teže
g	m	Minimalna debljina šava zavarenog spoja
H	m	Visina
h	m	Sigurnosna dubina barometričkog kondenzatora
H_1	m	Visina dobave pumpe 1. stupnja
H_2	m	Visina dobave pumpe 2. stupnja
h	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$	Entalpija
h_F	m	Visina oboda prirubnice
I	mm^4	Moment inercije
k	m	Hrapavost
k	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$	Koeficijent prolaze topline
L	m	Dužina cijevi
n		Broj cijevi
Nu		Bezdimenzijska značajka
p	Pa	Tlak
Δp	Pa	Pad tlaka
p_{kr}	Pa	Kritični tlak
qm	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$	Maseni protok

Q	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	Volumni protok
R	m	Radius kalote
r	m	Radius torusnog dijela
Re		Bezdimenzijska značajka
R_e	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Granica razvlačenja
R_m	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Vlačna čvrstoća
s	m	Debljina stijenke cijevi
S		Stupanj sigurnosti
s_A	m	Debljina stijenke izreza
s_e	m	Debljina stijenke lima
S_K		Sigurnost na ulubljenje
t	m	Korak cijevi
v		Koeficijent valjanosti zavarenog spoja
v_A		Koeficijent izreza
w	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	Brzina strujanja

Indeksi

u – ulaz	R1 – recirkulacija 1. stupnja
i – izlaz	R2 – recirkulacija 2. stupnja
x – međukoncentracija	D – svježa para
S1 – supara 1. stupnja	w – rashladna voda
S2 – supara 2. stupnja	K - kondenzat

SAŽETAK

U sklopu ovog rada konstruiran je uređaj za uparivanje soka od rajčice i analizirana potrošnja energije u sustavu uparivanja soka od rajčice mijenjanjem broja stupnjeva uparivanja i koncentracije između njih. Izvršen je potpuni termodinamički proračun svih elemenata uređaja odabranog tipa uparivača. Elementi izmjenjivača topline i separatora proračunati su za zadana opterećenja na čvrstoću aparata. Rad sadrži radionički crteže uparivača s dispozicijskim nacrtom uređaja uz shemu spajanja, automatske regulacije i upravljanja.

Ključne riječi: uparivanje soka rajčice; konstrukcija; izmjenjivač topline; separator

SUMMARY

The concept of this paper was to design tomato juice evaporator and analyze energy consumption of evaporator system in dependence to number of stages and concentrations between them. Thermodynamic calculation of all evaporator elements was conducted for selected evaporator type. Heat exchanger and separator parts were designed for maximum stress load. Paper contains manufacturing sheets, assembly drawing, disposal drawing and regulation scheme.

Key words: tomato juice evaporation; design; heat exchanger; separator

1. UVOD

Potrebno je konstruirati uređaj za uparivanje svježeg soka od rajčice tako da se od svježeg soka koncentracije suhe tvari $\xi_i = 7\%$ dobije koncentrat s $\xi_{iu} = 30\%$ u količini 900 kg/h.

Najprije je provedena analiza potrošnje pogonske energije za vođenje procesa po broju stupnjeva uparivanja, a nakon toga analiza uparivanja u dva stupnja s variranjem u odabranoj međukoncentraciji. Tim inicijalnim energetske analizama odabrani su osnovni parametri vođenja procesa. Proces uparivanja vodi se u vakuumu kako bi se očuvala organoleptička svojstva soka rajčice koja naglo propadaju na temperaturama uparivanja pri atmosferskom tlaku.

Analiza provedena za uparivanje u jednom stupnju, u jednom stupnju s iskorištavanjem supare, u dva stupnja, tri stupnja i četiri stupnja pokazala je kako se potreba svježeg ogrjevnog pare smanjuje s povećanjem broja stupnjeva uparivanja i predgrijavanjem ulaza soka rajčice suparom nastalom procesom uparivanja. Svi procesi vode se na način da je količina proizvedene supare jednaka u svakom stupnju. Ako želimo voditi proces s jednakim maksimalnim i minimalnim temperaturama uparivanja na početku i kraju procesa, a koje uvjetuju kvalitetu proizvoda, s povećanjem broja stupnjeva uparivanja smanjuje se raspoloživi ΔT na grijalicama. Smanjenje razlike temperatura na grijalicama dovodi do povećanja njihove površine na što treba obratiti pozornost.

Razmatranje utjecaja odabrane međukoncentracije na potrošnju svježeg pogonskog pare u dva stupnja pokazala je najmanju potrošnju svježeg pare u slučaju kada se proces vodi na način da se u oba stupnja proizvodi približno jednaka količina supare. U slučajevima kada se u prvom stupnju proizvodi nedovoljno supare za pogon drugog stupnja potrebno je nadomjestiti nedostatak energije svježom parom. Takav sustav rezultira većom potrošnjom svježeg pare.

Kada se u prvom stupnju proizvodi više supare nego što je potrebno za drugi stupanj višak pare ostaje neiskorišten dok je za proizvodnju te iste supare utrošena sve veća količina svježeg pare kako se njezina količina povećava. Ovakav sustav uparivanja pokazuje se kao energetski neučinkovit.

Za tip sustava uparivanja u ovom radu odabran je sustav s prisilnom cirkulacijom koji je danas uz filmsko uparivanje najzastupljeniji u praksi. Uparivanje je izvedeno u dva stupnja. Sustav se temelji na velikim količinama recirkulirane mase koja kruži između izmjenjivača topline i separatora svakog stupnja. Iz svakog stupnja uzima se tek dio koncentriranog soka koji nastavlja uparivanje u sljedećem stupnju. Princip s velikim recirkulacijskim protokom potreban je kako ne bi došlo do isparavanja u cijevima, a što je veoma pogubno po kvalitetu koncentriranog soka odnosno za njegova organoleptička svojstva.

Za konstrukciju uređaja koristi se materijal W.Nr. 1.4301 Inox čelik koji nalazi primjenu u kemijskoj i prehrambenoj industriji zbog svoje otpornosti na kiseline i dobrih svojstava za aparate pod tlakom.

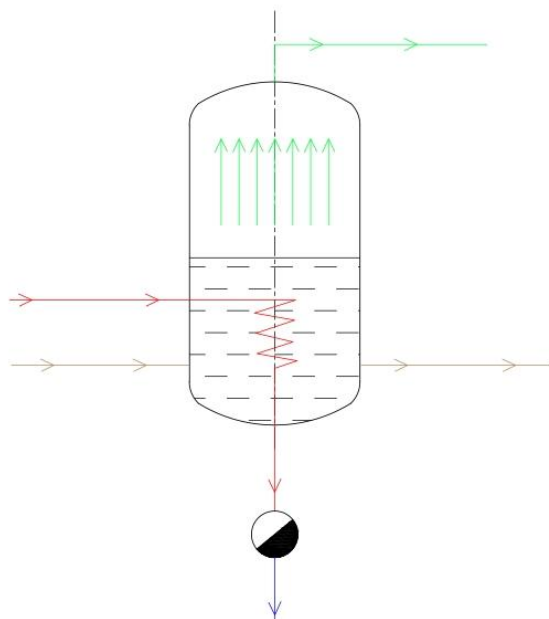
Najvažniji zahtjev u pristupu izvedbe rješenja su jednake uparivačke jedinice 1. i 2. stupnja

2. ANALIZA SUSTAVA UPARIVANJA

2.1. Analiza sustava uparivanja u odnosu na broj stupnjeva

2.1.1. Uparivanje u jednom stupnju

Najjednostavniji oblik uparivanja predstavlja uparivanje u jednom stupnju u kojem se postiže zadana koncentracija.



Protoci:

qm_u – ulaz svježeg soka rajčice

qm_i – izlaz koncentrata soka rajčice

qm_D – ulaz svježe zasićene pare, izlaz kondenzata

qm_S – izlaz supare

Entalpije:

h_u – entalpija svježeg soka rajčice

h_i – entalpija koncentrata soka rajčice

h_D – entalpija svježe zasićene pare

h_S – entalpija supare

h_K – entalpija kondenzata

ξ_i – koncentracija soka na ulazu

ξ_u – koncentracija soka na izlazu

Bilanca mase:

$$qm_u = qm_i + qm_S$$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u}$$

Uparivanje se izvršava pri 73 °C, svježi sok rajčice ulazi s 24 °C dok se za potrebni dotok energije koristi suhozasićena para temperature 100 °C.

Ulazni podaci:

$$qm_i = 900 \text{ kg/h}$$

$$\xi_i = 30\%$$

$$\xi_u = 7\%$$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u} = 900 \cdot \frac{0,3}{0,07} = 3857,143 \text{ kg/h}$$

$$qm_s = qm_u - qm_i = 3857,143 - 900 = 2957,143 \text{ kg/h}$$

Bilanca energije:

$$qm_u \cdot h_u + qm_D \cdot h_D = qm_i \cdot h_i + qm_s \cdot h_s + qm_D \cdot h_K$$

Specifični toplinski kapacitet računa se aditivnom formulom:

$$c = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 \quad [1]$$

c_{st} – specifični toplinski kapacitet suhe tvari rajčice

c_0 – specifični toplinski kapacitet vode

$$c_{st} = 2,6584 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_0 = 4,187 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_u = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0,07 \cdot 2,6584 + (1 - 0,07) \cdot 4,187 = 4,02 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_i = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0,3 \cdot 2,6584 + (1 - 0,3) \cdot 4,187 = 3,728 \text{ kJ/(kg K)}$$

Entalpije:

$$h_u = \vartheta_u \cdot c_u = 24 \cdot 4,02 = 96,48 \text{ kJ/kg}$$

$$h_i = \vartheta_i \cdot c_i = 73 \cdot 3,728 = 272,17 \text{ kJ/kg}$$

$$h_D = 2676 \text{ kJ/kg}$$

$$h_s = 2631,3 \text{ kJ/kg}$$

$$h_K = 419,22 \text{ kJ/kg}$$

Iz bilance energije dobiva se potrebna količina suhozasićene pare za vođenje procesa prema zadanim parametrima.

$$qm_u \cdot h_u + qm_D \cdot h_D = qm_i \cdot h_i + qm_S \cdot h_S + qm_D \cdot h_K$$

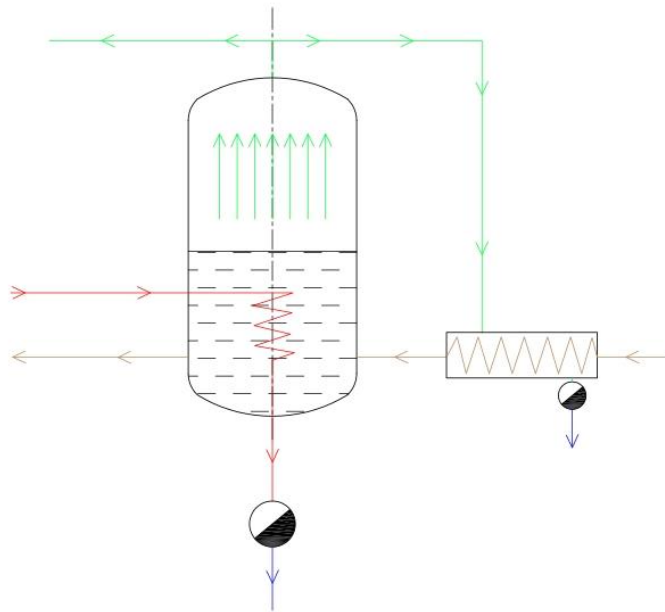
$$\begin{aligned} qm_D &= \frac{qm_i \cdot h_i + qm_S \cdot h_S - qm_u \cdot h_u}{h_D - h_K} = \\ &= \frac{900 \cdot 272,17 + 2957,143 \cdot 2631,3 - 3857,143 \cdot 96,48}{2676 - 419,22} = 3391,54 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Potrebna snaga grijalice:

$$\phi = \frac{qm_D \cdot (h_D - h_K)}{3600} = \frac{3391,54 \cdot (2676 - 419,22)}{3600} = 2126,1 \text{ kW}$$

2.1.2. Uparivanje u jednom stupnju s iskorištavanjem supare

Napredniji sustav uparivanja u jednom stupnju predstavlja sustav s iskorištavanjem dijela supare za predgrijavanje ulaznog svježeg soka na temperaturu uparivanja.



Protoci:

- qm_u – ulaz svježeg soka rajčice
- qm_i – izlaz koncentrata soka rajčice
- qm_D – ulaz svježe zasićene pare, izlaz kondenzata
- qm_S – izlaz ukupne supare
- qm_{S1} – neiskorištena supara
- qm_{S2} – supara za predgrijanje

Entalpije:

- h_u – entalpija svježeg soka rajčice
- h_P – entalpija predgrijanog svježeg soka rajčice na ulazu u uparivač
- h_i – entalpija koncentrata soka rajčice
- h_D – entalpija svježe zasićene pare
- h_S – entalpija supare
- h_K – entalpija kondenzata svježe pare
- h_{KS} – entalpija kondenzata supare predgrijanja

ξ_i – koncentracija soka na ulazu

ξ_u – koncentracija soka na izlazu

Bilanca mase:

$$\begin{aligned} qm_u &= qm_i + qm_s \\ qm_u &= qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u} \end{aligned}$$

Uparivanje se izvršava pri 73 °C, svježi sok rajčice ulazi s 24 °C dok se za potrebni dotok energije koristi suhozasićena para temperature 100 °C.

Ulazni podaci:

$$qm_i = 900 \text{ kg/h}$$

$$\xi_i = 30\%$$

$$\xi_u = 7\%$$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u} = 900 \cdot \frac{0,3}{0,07} = 3857,143 \text{ kg/h}$$

$$qm_s = qm_u - qm_i = 3857,143 - 900 = 2957,143 \text{ kg/h}$$

Bilanca energije uparivača:

$$qm_u \cdot h_p + qm_D \cdot h_D = qm_i \cdot h_i + qm_s \cdot h_s + qm_D \cdot h_K$$

Bilanca energije predgrijavanja:

$$qm_u \cdot h_u + qm_{s2} \cdot h_{s2} = qm_u \cdot h_p + qm_{s2} \cdot h_{KS2}$$

Specifični toplinski kapacitet računa se aditivnom formulom:

$$c = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0$$

c_{st} – specifični toplinski kapacitet suhe tvari rajčice

c_0 – specifični toplinski kapacitet vode

$$c_{st} = 2,6584 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_0 = 4,187 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_{u,p} = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0,07 \cdot 2,6584 + (1 - 0,07) \cdot 4,187 = 4,02 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_i = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0,3 \cdot 2,6584 + (1 - 0,3) \cdot 4,187 = 3,728 \text{ kJ/(kg K)}$$

Entalpije:

$$h_u = \vartheta_u \cdot c_u = 24 \cdot 4,02 = 96,48 \text{ kJ/kg}$$

$$h_p = \vartheta_p \cdot c_u = 73 \cdot 4,02 = 293,46 \text{ kJ/kg}$$

$$h_i = \vartheta_i \cdot c_i = 73 \cdot 3,728 = 272,17 \text{ kJ/kg}$$

$$h_D = 2676 \text{ kJ/kg}$$

$$h_S = 2631,3 \text{ kJ/kg}$$

$$h_K = 419,22 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{KS} = 305,67 \text{ kJ/kg}$$

Iz bilance energije dobiva se potrebna količina suhozasićene pare za vođenje procesa prema zadanim parametrima.

$$qm_u \cdot h_p + qm_D \cdot h_D = qm_i \cdot h_i + qm_S \cdot h_S + qm_D \cdot h_K$$

$$qm_D = \frac{qm_i \cdot h_i + qm_S \cdot h_S - qm_u \cdot h_p}{h_D - h_K} =$$

$$= \frac{900 \cdot 272,17 + 2957,143 \cdot 2631,3 - 3857,143 \cdot 293,46}{2676 - 419,22} = 3054,87 \text{ kg/h}$$

Potrebna količina supare za predgrijavanje ulaznog soka:

$$qm_{S2} = \frac{qm_u \cdot h_p - qm_u \cdot h_u}{h_{S2} - h_{KS2}} = \frac{3857,143 \cdot 293,46 - 3857,143 \cdot 96,48}{2631,3 - 305,67} = 326,6 \text{ kg/h}$$

$$qm_S = qm_{S1} + qm_{S2}$$

Količina neiskorištene supare:

$$qm_{S1} = qm_S - qm_{S2} = 2957,14 - 326,6 = 2630,54 \text{ kg/h}$$

Potrebna snaga grijalice uparivača:

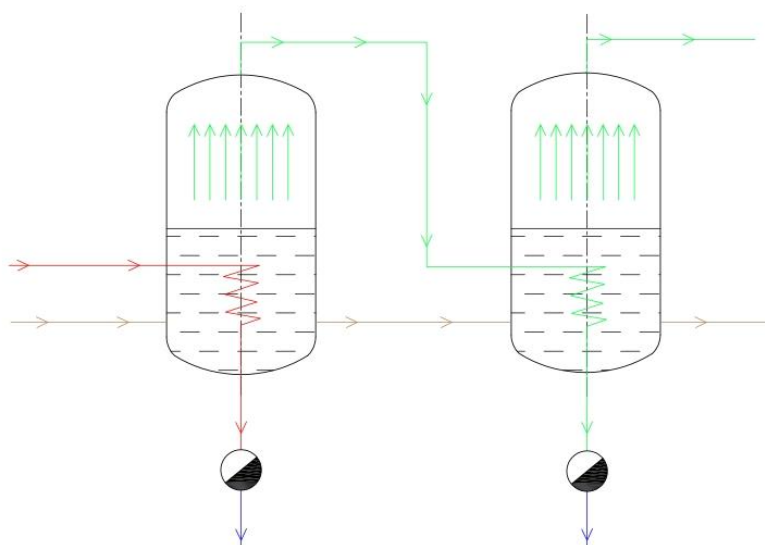
$$\Phi = \frac{qm_D \cdot (h_D - h_K)}{3600} = \frac{3054,87 \cdot (2676 - 419,22)}{3600} = 1915,62 \text{ kW}$$

Potrebna snaga grijalice predgrijača:

$$\Phi = \frac{qm_{S2} \cdot (h_S - h_{KS})}{3600} = \frac{326,6 \cdot (2631,3 - 305,67)}{3600} = 210,99 \text{ kW}$$

2.1.3. Uparivanje u dva stupnja

Najjednostavniji oblik uparivanja predstavlja uparivanje u jednom stupnju u kojem se postiže zadana koncentracija.



Protoci:

- qm_u – ulaz svježeg soka rajčice
- qm_i – izlaz koncentrata soka rajčice
- qm_D – ulaz svježe zasićene pare, izlaz kondenzata
- qm_{S1} – supara prvog stupnja
- qm_x – međukoncentracija
- qm_{S2} – supara drugog stupnja
- qm_{SP} – potrebna količina supare za pogon 2. stupnja

Entalpije:

- h_u – entalpija svježeg soka rajčice
- h_i – entalpija koncentrata soka rajčice
- h_x – entalpija međukoncentracije soka rajčice
- h_D – entalpija svježe zasićene pare
- h_{S1} – entalpija supare prvog stupnja
- h_K – entalpija kondenzata svježe pare
- h_{KS1} – entalpija kondenzata supare prvog stupnja
- h_{S2} – entalpija supare drugog stupnja

ξ_i – koncentracija soka na ulazu
 ξ_u – koncentracija soka na izlazu
 ξ_x – koncentracija soka u međukoncentraciji

Bilanca mase cijelog sustava:

$$\begin{aligned} qm_u &= qm_i + qm_s \\ qm_u &= qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u} \end{aligned}$$

Uparivanje prvog stupnja izvršava se pri 73 °C, svježi sok rajčice ulazi s 24 °C dok se za potrebni dotok energije koristi suhozasićena para temperature 100 °C. U drugom stupnju uparivanje se vrši pri 48,8 °C pomoću supare iz prvog stupnja.

Ulazni podaci:

$$\begin{aligned} qm_i &= 900 \text{ kg/h} \\ \xi_i &= 30\% \\ \xi_u &= 7\% \end{aligned}$$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u} = 900 \cdot \frac{0,3}{0,07} = 3857,143 \text{ kg/h}$$

Potrebna količina isparene vode za postizanje željene koncentracije:

$$qm_s = qm_u - qm_i = 3857,143 - 900 = 2957,143 \text{ kg/h}$$

Dobivena supara iz oba stupnja mora odgovarati ukupnoj količini isparene vode:

$$qm_s = qm_{s1} + qm_{s2}$$

Uz uvjet kako se želi postići jednoliko otparivanje u oba stupnja:

$$qm_{s1} = qm_{s2}$$

Dobiva se potrebna količina dobivene supare za svaki stupanj.

$$qm_{s1} = \frac{qm_s}{2} = \frac{2957,143}{2} = 1478,57 \text{ kg/h} = qm_{s2}$$

Potrebna međukoncentracija za postizanje takvog procesa iznosi:

$$qm_x = qm_u - qm_{s1} = 3857,143 - 1478,57 = 2378,573 \text{ kg/h}$$

$$\xi_x = \xi_u \cdot \frac{qm_u}{qm_x} = 0,07 \cdot \frac{3857,143}{2378,573} = 0,1135$$

Bilanca energije 1. stupnja:

$$qm_u \cdot h_u + qm_D \cdot h_D = qm_x \cdot h_x + qm_{s1} \cdot h_{s1} + qm_D \cdot h_K$$

Specifični toplinski kapacitet računa se aditivnom formulom:

$$c = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 \quad [1]$$

c_{st} – specifični toplinski kapacitet suhe tvari rajčice

c_0 – specifični toplinski kapacitet vode

$$c_{st} = 2,6584 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_0 = 4,187 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_u = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0,07 \cdot 2,6584 + (1 - 0,07) \cdot 4,187 = 4,02 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_x = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0,1135 \cdot 2,6584 + (1 - 0,1135) \cdot 4,187 = 4,013 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_i = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0,3 \cdot 2,6584 + (1 - 0,3) \cdot 4,187 = 3,728 \text{ kJ/(kg K)}$$

Entalpije:

$$h_u = \vartheta_u \cdot c_u = 24 \cdot 4,02 = 96,48 \text{ kJ/kg}$$

$$h_x = \vartheta_x \cdot c_u = 73 \cdot 4,013 = 292,98 \text{ kJ/kg}$$

$$h_i = \vartheta_i \cdot c_i = 48,8 \cdot 3,728 = 181,95 \text{ kJ/kg}$$

$$h_D = 2676 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{s1} = 2632 \text{ kJ/kg}$$

$$h_K = 419,22 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{KS} = 305,67 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{s2} = 2590 \text{ kJ/kg}$$

Iz bilance energije 1. stupnja dobiva se potrebna količina suhozasićene pare za vođenje procesa prema zadanim parametrima.

$$qm_u \cdot h_u + qm_D \cdot h_D = qm_i \cdot h_i + qm_{s1} \cdot h_{s1} + qm_D \cdot h_K$$

$$qm_D = \frac{qm_x \cdot h_x + qm_{s1} \cdot h_{s1} - qm_u \cdot h_u}{h_D - h_K} =$$

$$= \frac{2378,573 \cdot 292,98 + 1478,57 \cdot 2632 - 3857,143 \cdot 96,48}{2676 - 419,22} = 1868,3 \text{ kg/h}$$

Bilanca energije 2. stupnja:

$$qm_x \cdot h_x + qm_{SP} \cdot h_{S1} = qm_i \cdot h_i + qm_{S2} \cdot h_{S2} + qm_{SP} \cdot h_{KS}$$

$$\begin{aligned} qm_{SP} &= \frac{qm_i \cdot h_i + qm_{S2} \cdot h_{S2} - qm_x \cdot h_x}{h_D - h_K} = \\ &= \frac{900 \cdot 181,95 + 1478,57 \cdot 2590 - 2378,573 \cdot 292,98}{2632 - 419,22} = 1417 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Potrebna snaga grijalice 1. stupnja:

$$\Phi_1 = \frac{qm_D \cdot (h_D - h_K)}{3600} = \frac{1868,3 \cdot (2676 - 419,22)}{3600} = 1171,21 \text{ kW}$$

Potrebna snaga grijalice 2. stupnja:

$$\Phi_2 = \frac{qm_{SP} \cdot (h_{S1} - h_{KS})}{3600} = \frac{1417 \cdot (2632 - 305,67)}{3600} = 915,66 \text{ kW}$$

Teoretska dovedena snaga na grijalicu 2. stupnja:

$$\Phi_2 = \frac{qm_{S1} \cdot (h_{S1} - h_{KS})}{3600} = \frac{1478,57 \cdot (2632 - 305,67)}{3600} = 955,46 \text{ kW}$$

U procesu s jednakim otparivanjem u oba stupnja u 2. stupnju teoretski se dovodi više energije nego je to potrebno za dobivanje potrebne koncentracije, točnije 5% više nego što je potrebno. U realnom slučaju takva razlika može se zanemariti zbog gubitaka koji će nastati u parovodu koji dovodi dobivenu suparu iz prvog stupnja do uparivača drugog stupnja.

2.1.4. Uparivanje u tri i četiri stupnja

Jednaka analiza za svaki pojedinačni uparivač načinjena je i za trostupanjski i četverostupanjski vođeni proces. U analizu je uključena i provedba računanja potrebne površine grijalica za svaki stupanj s pretpostavljenim $k = 400 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Proračun je proveden u Excel datoteci i predložen Tablicom 1.

Tablica 1. Analiza po stupnjevima uparivanja

Vrsta sustava	Jednostupanjski	Jednostupanjski s iskorištavanjem supare	Dvostupanjski	Trostupanjski	Četverostupanjski
Potreba svježe pare [kg/h]	3392.45	3055.79	1868.30	1401.35	1180.00
Proizvedena supara [kg/h]	2957.14	2957.14	1478.57	985.71	739.29
kilogram svježe pare/ kilogram proizvoda	3.77	3.40	2.08	1.56	1.31
tlak 1. uparivača [bar]	0.36	0.36	0.36	0.44	0.58
temperatura 1. uparivača [°C]	73	73	73	80	85
ΔT 1. grijalice [°C]	27	27	27	20	15
snaga 1. grijalice [kW]	2126.67	1915.62	1171.21	878.48	739.72
površina 1.grijalice [m ²]	196.91	177.37	98.52	109.81	123.29
snaga pomoćne grijalice [kW]		211.05			
površina pomoćne grijalice [m ²]		10.77			
tlak 2. uparivača [bar]			0.12	0.25	0.37
temperatura 2. uparivača [°C]			48.8	65.0	74.0
ΔT 2. grijalice [°C]			24.2	14.9	11.0
snaga 2. grijalice [kW]			955.46	514.13	454.07
površina 2.grijalice [m ²]			98.70	86.01	103.20
tlak 3. uparivača [bar]				0.13	0.23
temperatura 3. uparivača [°C]				50	63
ΔT 3. grijalice [°C]				14.9	11.00
snaga 3. grijalice [kW]				634.06	469.38
površina 3.grijalice [m ²]				106.31	106.68
tlak 4. uparivača [bar]					0.12
temperatura 4. uparivača [°C]					48.8
ΔT 4. grijalice [°C]					14.20
snaga 4. grijalice [kW]					463.49
površina 4.grijalice [m ²]					81.60
ukupna snaga [kW]	2126.67	2126.67	2126.66	2026.67	2126.67
ukupna površina [m ²]	196.91	188.14	197.22	302.13	414.76

2.2. Analiza sustava uparivanja u odnosu na odabranu međukoncentraciju

Za analizu potrošnje energije u odnosu na mijenjanje međukoncentracije između stupnjeva uparivanja odabran je dvostupanjski proces. Model je sličan modelu s jednakim otparivanjem u oba stupnja ali kao promjenjiv ulazni parametar uz konstantne ulazne parametre (koncentracija ulaza i izlaza, količina koncentriranog soka, temperature uparivanja) uveden je stupanj međukoncentracije koji određuje količinu dobivene supare u oba stupnja.

Konstantni ulazni podaci jednaki su kao u već prikazanom dvostupanjskom modelu. Dobivena supara iz oba stupnja mora odgovarati ukupnoj količini isparene vode:

$$qm_S = qm_{S1} + qm_{S2}$$

Uvjet za jednoliko otparivanje u oba stupnja više ne vrijedi.

$$qm_{S1} \neq qm_{S2}$$

Prvo se dobiva potrebna količina dobivene supare za 1. stupanj.

$$qm_{S1} = qm_u - qm_u \cdot \frac{\xi_u}{\xi_x}$$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u}$$

Nakon čega slijedi:

$$qm_{S2} = qm_S - qm_{S1}$$

Bilance energije za svaki stupanj i ostali izrazi vrijede kao u već prije prikazanom modelu.

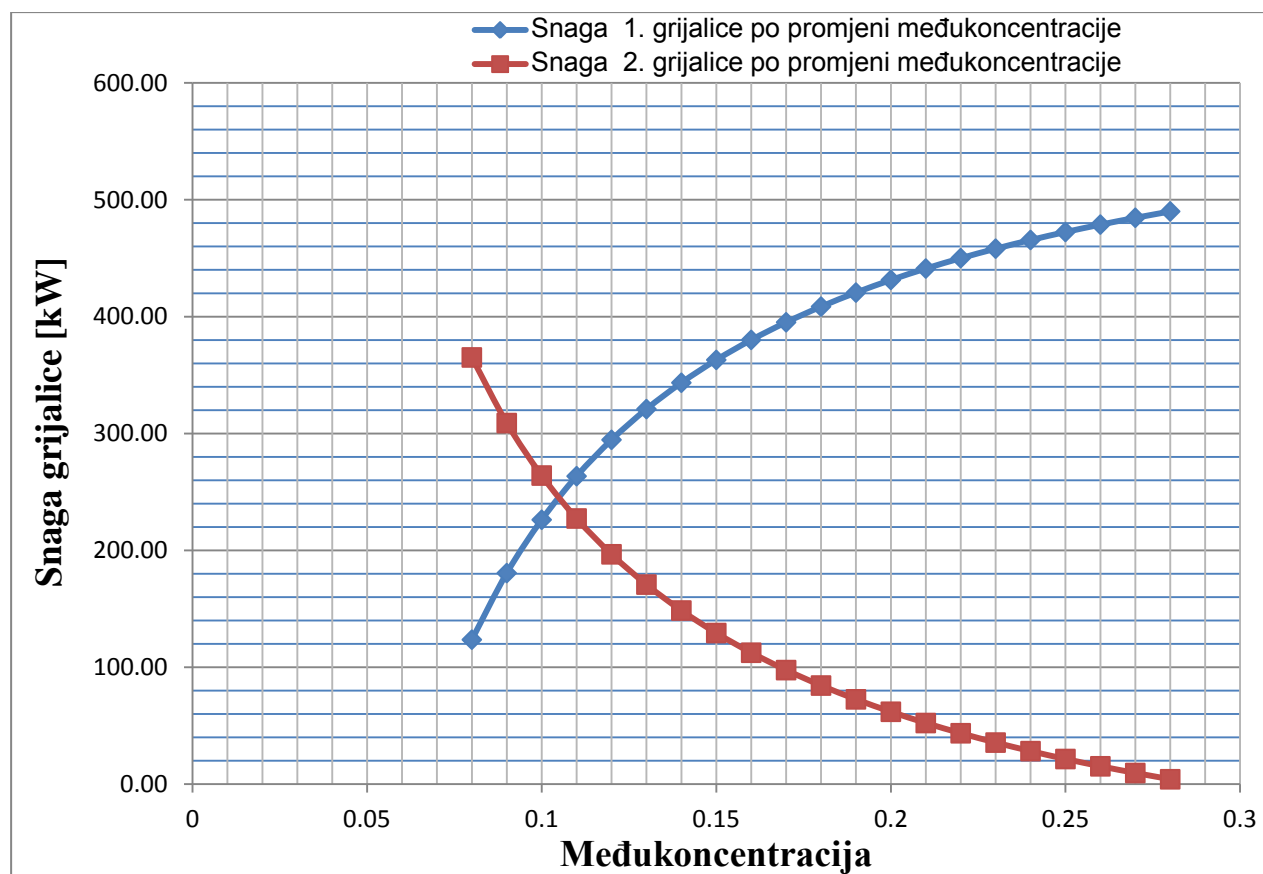
suha tvar	kg/h		
	ZASIĆENA VODENA PARA [qmD]	SUPARA PRVOG STUPNJA [qmS1]	SUPARA DRUGOG STUPNJA [qmS2]
0.08	197.05	112.50	577.50
0.09	288.00	200.00	490.00
0.1	360.75	270.00	420.00
0.11	420.28	327.27	362.73
0.12	469.89	375.00	315.00
0.13	511.86	415.38	274.62
0.14	547.84	450.00	240.00
0.15	579.02	480.00	210.00
0.16	606.30	506.25	183.75
0.17	630.37	529.41	160.59
0.18	651.77	550.00	140.00
0.19	670.92	568.42	121.58
0.2	688.15	585.00	105.00
0.21	703.74	600.00	90.00
0.22	717.91	613.64	76.36
0.23	730.85	626.09	63.91
0.24	742.72	637.50	52.50
0.25	753.63	648.00	42.00
0.26	763.70	657.69	32.31
0.27	773.03	666.67	23.33
0.28	781.69	675.00	15.00

suha tvar	kW		kW VIŠAK/NEDOSTATAK SNAGE ZA 2. STUPANJ
	SNAGA 1. GRIJALICE	SNAGA 2. GRIJALICE	
0.08	123.53	365.067	-291.767
0.09	180.54	308.915	-178.604
0.1	226.15	263.994	-88.074
0.11	263.47	227.240	-14.004
0.12	294.56	196.611	47.722
0.13	320.88	170.695	99.951
0.14	343.43	148.481	144.718
0.15	362.98	129.229	183.517
0.16	380.08	112.383	217.466
0.17	395.17	97.520	247.421
0.18	408.58	84.307	274.047
0.19	420.59	72.486	297.871
0.2	431.39	61.847	319.312
0.21	441.16	52.221	338.712
0.22	450.05	43.470	356.348
0.23	458.16	35.480	372.450
0.24	465.60	28.155	387.210
0.25	472.44	21.417	400.790
0.26	478.75	15.197	413.325
0.27	484.60	9.438	424.931
0.28	490.03	4.090	435.709

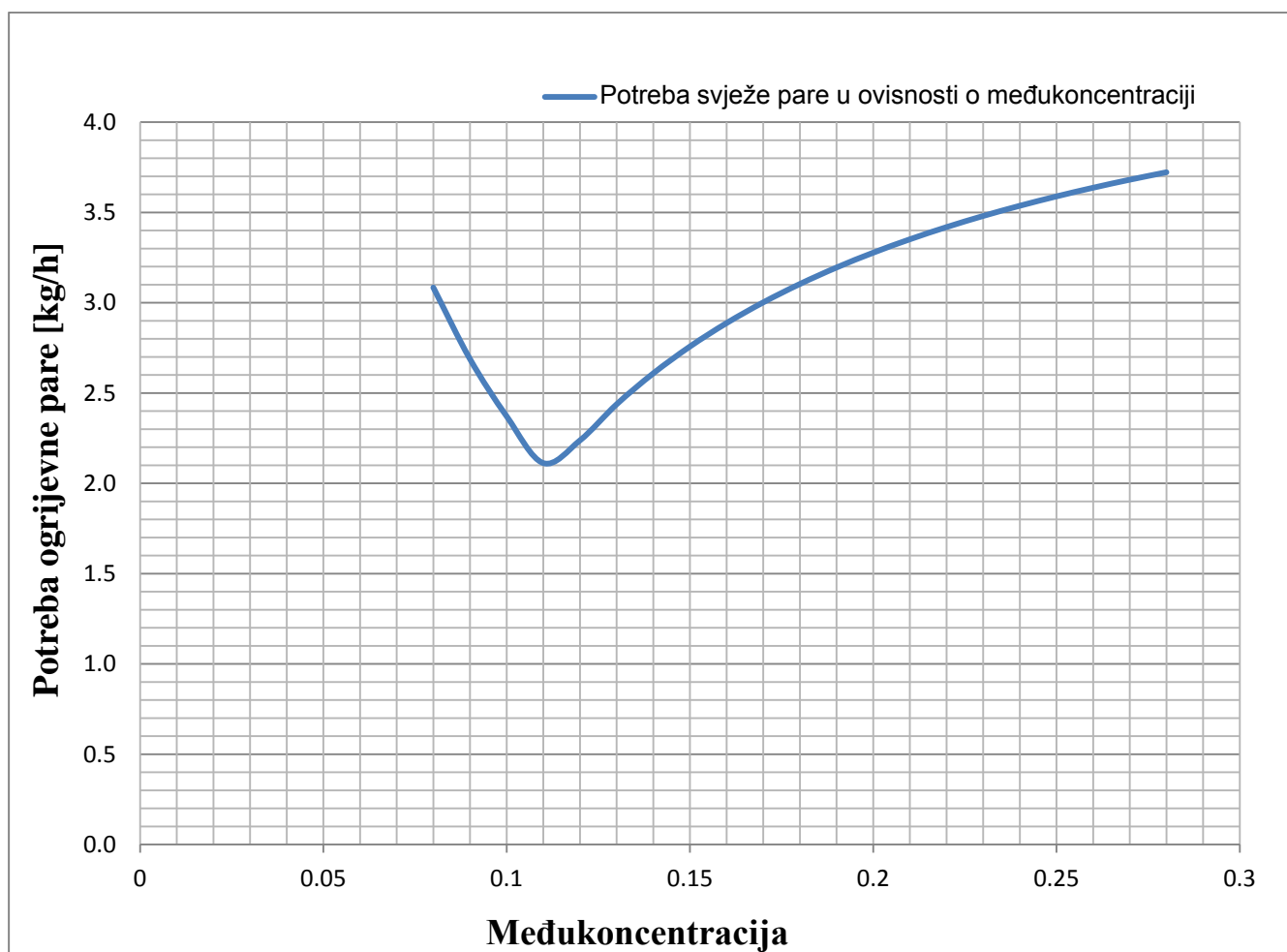
suha tvar	kW VIŠAK/NEDOSTATAK SNAGE ZA 2. STUPANJ	m ²		kilogrami potrosene pare/ kiilogramu proizvedenog koncentrata
		POVRŠINA 1. GRIJLALICE	POVRŠINA 2. GRIJLALICE	
0.08	-291.767	10.29	36.51	3.084
0.09	-178.604	15.05	30.89	2.688
0.1	-88.074	18.85	26.40	2.371
0.11	-14.004	21.96	22.72	2.112
0.12	47.722	24.55	19.66	2.238
0.13	99.951	26.74	17.07	2.437
0.14	144.718	28.62	14.85	2.609
0.15	183.517	30.25	12.92	2.757
0.16	217.466	31.67	11.24	2.887
0.17	247.421	32.93	9.75	3.002
0.18	274.047	34.05	8.43	3.104
0.19	297.871	35.05	7.25	3.195
0.2	319.312	35.95	6.18	3.277
0.21	338.712	36.76	5.22	3.351
0.22	356.348	37.50	4.35	3.419
0.23	372.450	38.18	3.55	3.480
0.24	387.210	38.80	2.82	3.537
0.25	400.790	39.37	2.14	3.589
0.26	413.325	39.90	1.52	3.637
0.27	424.931	40.38	0.94	3.681
0.28	435.709	40.84	0.41	3.722

Tabela 2. Uparivanje u odnosu na međukoncentraciju

Ovisnost potrebe svježe pare o izboru međukoncentracije.

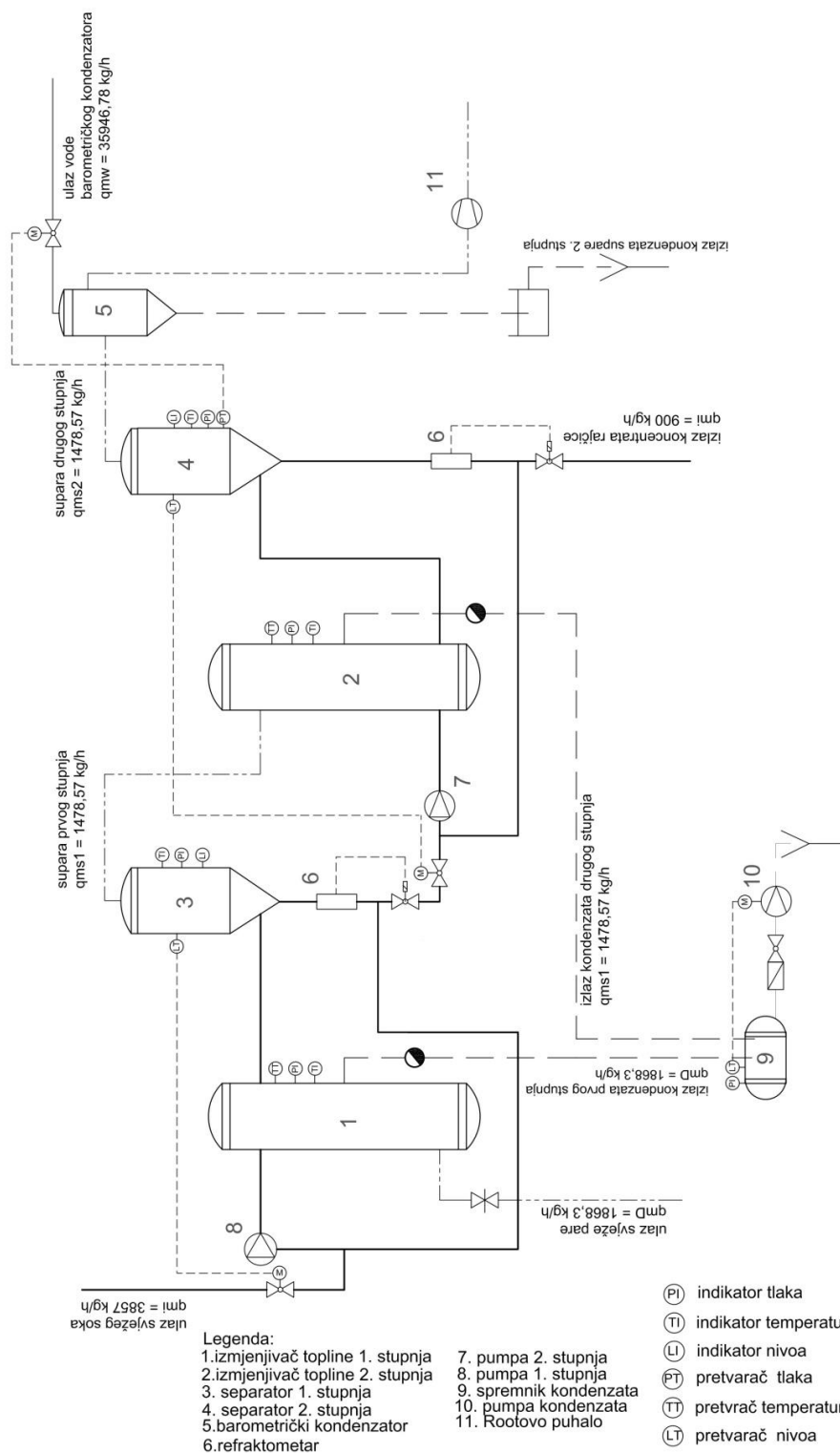


Ovisnost potrebe svježe pare o izboru međukoncentracije.



3. TERMODINAMIČKI PRORAČUN UPARIVAČKIH JEDINICA 1. I 2. STUPNJA

3.1. Shema postrojenja za uparivanje soka od rajčice



3.2. Tehnički opis

Na početku puštanja u pogon uređaja svježi sok rajčice ulazi u izmjenjivač topline puneći cijevi i separator do radnog nivoa bez puštanja ogrjevnice pare u izmjenjivač topline. Kada je postignut radni nivo u separatoru zatvara se ulaz svježeg soka rajčice i započinje dotok potrebne količine ogrjevnice pare u izmjenjivač topline dok pumpa recirkulira sok kroz izmjenjivač i separator sve dok refraktometar ne zabilježi dovoljnu količinu šećera koja odgovara za koncentraciju $\xi_x = 11,35\%$ proračunatu kao međukoncentraciju sustava. Tada se otvara ventil koji pušta potrebnu količinu koncentriranog soka u drugi stupanj uparivanja dok se na ulazu otvara prolaz svježeg soka rajčice koji započinje svoj radni ciklus uparivanja.

U 2. stupnju se zatim odvija jednaki proces kao u 1. stupnju. Ulogu svježeg soka zamjenjuje koncentrat iz 1. stupnja međukoncentracije $\xi_x = 11,35\%$, a svježu paru supara 1. stupnja. Izmjenjivač topline i separator se pune do radnog nivoa kada se zatvara ulaz međukoncentracije i supara 1. stupnja započinje ulaziti u izmjenjivač topline dok pumpa 2. stupnja započinje recirkulirati koncentrat. Sada refraktometar drži zatvorenim izlaz gotovog proizvoda dok ne zabilježi dovoljnu količinu šećera koja odgovara za koncentraciju $\xi_x = 30\%$ i tada se otvara ulaz koncentrata 1. stupnja koji započinje svoj radni ciklus uparivanja.

Radni ciklus vodi se na sljedeći način s regulacijom pretvarača nivoa.

Svježi sok koncentracije 7% suhe tvari ulazi u izmjenjivač topline zajedno s recirkulacijskim protokom 1. stupnja gdje se zagrijava na $77\text{ }^{\circ}\text{C}$ pomoću svježe suhozasićene pare temperature $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nakon toga zajednički protok ulazi u separator u kojem vlada tlak $0,357\text{ bar}$ i u kojem se vrši uparivanje na $73\text{ }^{\circ}\text{C}$ i za koncentraciju $\xi_x = 11,35\%$. Dio koncentriranog soka odvaja se za 2. stupanj dok recirkulacijski protok nastavlja kružiti. Odvojena količina ulazi u 2. stupanj u kojem zatim zajedno s recirkulacijskim protokom 2. stupnja ulazi u jednaki izmjenjivač topline poput 1. stupnja i zagrijava se na $53,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ pomoću supare dobivene u separatoru 1. stupnja. Zajednički protok zatim ulazi u separator 2. stupnja u kojem vlada tlak $0,121\text{ bar}$ i vrši se uparivanje pri $48,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $\xi_x = 30\%$. Iz 2. stupnja izlazi željena količina koncentriranog soka od 900 kg/h dok ostatak nastavlja kružiti između separatora i izmjenjivača topline 2. stupnja.

3.3. Proračun 1. stupnja uparivanja

3.3.1. Bilanca mase i energije

Protoci:

qm_u – ulaz svježeg soka rajčice
 qm_i – izlaz koncentrata soka rajčice
 qm_D – ulaz svježe zasićene pare, izlaz kondenzata
 qm_{S1} – supara prvog stupnja
 qm_x – međukoncentracija
 qm_{R1} – recirkulacija prvog stupnja

Entalpije:

h_u – entalpija svježeg soka rajčice
 h_i – entalpija koncentrata soka rajčice
 h_x – entalpija međukoncentracije soka rajčice
 h_D – entalpija svježe zasićene pare
 h_{S1} – entalpija supare prvog stupnja
 h_K – entalpija kondenzata svježe pare
 h_{R1} – entalpija izmješanog svježeg soka i recirkulacije na izlazu iz izmjenjivača topline
 h_{M1} – entalpija izmješanog svježeg soka i recirkulacije na ulazu u izmjenjivač topline
 ξ_i – koncentracija soka na ulazu
 ξ_u – koncentracija soka na izlazu
 ξ_x – koncentracija soka u međukoncentraciji

Energetska bilanca sustava:

$$(qm_U + qm_{R1}) \cdot h_{R1} = (qm_X + qm_{R1}) \cdot h_X + qm_{S1} \cdot h_{S1}$$

$$qm_R \cdot h_{R1} + qm_U \cdot h_{R1} = qm_{R1} \cdot h_{R1} + qm_X \cdot h_X + qm_{S1} \cdot h_{S1}$$

$$qm_{R1} = \frac{qm_{S1} \cdot h_{S1} + qm_X \cdot h_X - qm_U \cdot h_{R1}}{h_{R1} - h_X}$$

$$qm_i = 900 \text{ kg/h}$$

$$\xi_i = 30\%$$

$$\xi_u = 7\%$$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u} = 900 \cdot \frac{0,3}{0,07} = 3857,143 \text{ kg/h}$$

Odabrana međukoncentracija za jednoliko dobivanje supare u oba stupnja iznosi 0,1135. Dobivena količina međukoncentracije prvog stupnja iznosi:

$$qm_x = qm_u \cdot \frac{\xi_u}{\xi_x} = 3857,143 \cdot \frac{0,07}{0,1135} = 2378,57 \text{ kg/h}$$

Potrebna količina otparivanja prvog stupnja iznosi:

$$qm_{s1} = qm_u - qm_x = 3857,143 - 2378,57 = 1478,57 \text{ kg/h}$$

Uparivanje se vrši na 73 °C dok se recirkulirana masa zagrijava na 77 °C, svježi sok od rajčice ulazi s 24 °C.

Specifični toplinski kapacitet računa se aditivnom formulom:

$$c = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 \quad [1]$$

c_{st} – specifični toplinski kapacitet suhe tvari rajčice

c_0 – specifični toplinski kapacitet vode

$$c_{st} = 2,6584 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_0 = 4,187 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_u = \xi_u \cdot c_{st} + (1 - \xi_u) \cdot c_0 = 0,07 \cdot 2,6584 + (1 - 0,07) \cdot 4,187 = 4,02 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_x = \xi_x \cdot c_{st} + (1 - \xi_x) \cdot c_0 = 0,1135 \cdot 2,6584 + (1 - 0,1135) \cdot 4,187 = 4,013 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_i = \xi_i \cdot c_{st} + (1 - \xi_i) \cdot c_0 = 0,3 \cdot 2,6584 + (1 - 0,3) \cdot 4,187 = 3,728 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$h_{R1} = \vartheta_{R1} \cdot c_x = 77 \cdot 4,013 = 309,132 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{s1} = 2631,994 \text{ kJ/kg}$$

$$h_x = \vartheta_x \cdot c_x = 74 \cdot 4,02 = 292,984 \text{ kJ/kg}$$

$$h_u = \vartheta_u \cdot c_u = 24 \cdot 4,02 = 96,48 \text{ kJ/kg}$$

$$qm_{R1} = \frac{qm_{s1} \cdot h_{s1} + qm_x \cdot h_x - qm_u \cdot h_{R1}}{h_{R1} - h_x} = \frac{1478,57 \cdot 2631,994 + 2378,57 \cdot 292,984 - 3857,143 \cdot 309,132}{309,132 - 292,984} = 210320,26 \text{ kg/h}$$

Potreba svježeg pare temperature 100 °C za zagrijavanje recirkulirane mase i svježeg ulaza iznosi:

$$(h_D - h_K) \cdot qm_D = (qm_U + qm_R) \cdot (h_{R1} - h_{M1})$$

Potrebno je najprije odrediti entalpiju nastalu miješanjem svježeg soka rajčice s recirkuliranom masom:

$$(qm_u + qm_{R1}) \cdot h_{M1} = qm_u \cdot h_u + qm_{R1} \cdot h_x$$

$$h_{M1} = \frac{qm_u \cdot h_u + qm_{R1} \cdot h_x}{(qm_u + qm_{R1})} = \frac{3857,143 \cdot 96,48 + 210320,26 \cdot 292,984}{3857,143 + 210320,26} =$$

$$= 289,45 \text{ kJ/kg}$$

Nakon čega se iz postavljene energetske bilance može dobiti količina potrebne svježe pare za vođenje procesa.

$$qm_D = \frac{(qm_u + qm_{R1}) \cdot (h_{R1} - h_{M1})}{(h_D - h_K)} =$$

$$= \frac{(3857,143 + 210320,26) \cdot (309,132 - 289,45)}{(2676 - 419,22)} = 1868,30 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3.3.2. Proračun izmjenjivača topline 1. stupnja

3.3.2.1. Na strani koncentrata

Srednja temperatura izlaza i ulaza na izmjenjivaču iznosi 75 °C. Gustoća za zadanu temperaturu iznosi 1031.06 kg/m³, a koja se računa prema formuli:

$$\rho = \rho_w \cdot (1 - \xi) + \rho_s \cdot \xi \quad [3]$$

ρ – gustoća koncentrata

ρ_w – gustoća povezana s vodenim udjelom

ρ_s – gustoća povezana s udjelom rajčice

ϑ – srednja temperatura koncentrata

$$\begin{aligned} \rho_w &= 9,9989 \cdot 10^2 - 6,0334 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 3,6710 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta^2 = \\ &= 9,9989 \cdot 10^2 - 6,0334 \cdot 10^{-2} \cdot 75 - 3,6710 \cdot 10^{-3} \cdot 75^2 = 974,72 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_s &= 1,4693 \cdot 10^3 + 5,4667 \cdot 10^{-1} \cdot \vartheta - 6,9643 \cdot 6,9643 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta^2 = \\ &= 1,4693 \cdot 10^3 + 5,4667 \cdot 10^{-1} \cdot 75 - 6,9643 \cdot 6,9643 \cdot 10^{-3} \cdot 75^2 = \\ &= 1471,126 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_w \cdot (1 - \xi_x) + \rho_s \cdot \xi_x = 974,72 \cdot (1 - 0,1135) + 1471,126 \cdot 0,1135 = \\ &= 1031,06 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Toplinska provodnost iznosi 0,5945 W/(m² K). , a računa se preko eksperimentalne formule za koncentrat rajčice: [7]

$$\lambda = 0,482 + 0,0015 \cdot \vartheta = 0,482 + 0,0015 \cdot 75 = 0,5945 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Odabrane cijevi imaju unutarnji promjer 0,016 m i vanjski promjer 0,018 m. Pretpostavljena duljina cijevi L iznosi 8,3 m dok je pretpostavljena brzina 1,2 m/s.

$$d_v = 18 \text{ mm}$$

$$d_u = 16 \text{ mm}$$

$$L = 8,3 \text{ m}$$

$$w = 1,2 \text{ m/s}$$

Kroz izmjenjivač prolazi količina od $qm_u + qm_{R1} = 210320.26 \text{ kg/h}$ odnosno 59.49 kg/s.

Re – Reynoldsov broj

μ – dinamčka viskoznost koncentrata

μ_w – dinamčka viskoznost na stijenci

Nu – Nusseltov broj

K, n – eksperimentalne konstante za zadanu koncentraciju i temperaturu

α_u – koeficijent prijelaza topline na strani koncentrata

$n_{c,pretp}$ – pretpostavljeni broj potrebnih cijevi

Sok od rajčice ponaša se kao ne-Newtonovska tekućina te se za rješavanje strujanja koristi modificirana Sieder and Tate jednadžba.

Ne-Newtonovske tekućine ponašaju se prema sljedećem zakonu. [4]

$$\tau = K (\dot{\gamma})^n$$

Gdje su K i n koeficijenti dobiveni laboratorijskim ispitivanjima za različite koncentracije i temperature.

Tim izrazom modificiran je i Reynoldsov broj.

$$Re = \frac{8(w)^{2-n} R^n \rho}{K[(3n+1)/n]^n}$$

Preko izraza za viskoznost:

$$\mu = \frac{Dw\rho}{Re}$$

dobiva se izraz za ne-Newtonovske tekućine.

$$\mu = \frac{K}{4} [(3n+1)/n]^n R^{1-n} w^{n-1}$$

Za dobivanje viskoznosti na stijenci koristi se Rabinowitsch-Mooney izraz.

$$\mu_w = K \left(\frac{2w}{D}\right)^{n-1} \left(\frac{3n+1}{n}\right)^{n-1}$$

Koji kombiniran sa Sieder and Tate jednadžbom daje izraz za Nusseltov broj kod ne-Newtonovskih tekućina.

$$Nu = 1,615 \left(\frac{3n+1}{4n}\right)^{0,33} \left(\frac{D^2 \cdot w \cdot \rho \cdot c_p}{\lambda L}\right)^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

Za dobivene parametre tekućine koeficijenti iznose: [6]

$$K = 2,28 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$$

$$n = 0,35$$

$$Re = \frac{8 \cdot (1,2)^{2-0,35} \cdot 0,008^{0,35} \cdot 1031,065}{2,28 \cdot \left[\frac{3 \cdot 0,35 + 1}{0,35} \right]^{0,35}} = 522,5$$

$$\mu = \frac{2,28}{4} [(3 \cdot 0,35 + 1)/0,35]^{0,35} \cdot 0,008^{1-0,35} \cdot 1,2^{0,35-1} = 0,03789 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\mu_w = 2,28 \cdot \left(\frac{2 \cdot 1,2}{0,016} \right)^{n-1} \cdot \left(\frac{3 \cdot 0,35 + 1}{0,35} \right)^{0,35-1} = 0,025875 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$Nu = 1,615 \cdot \left(\frac{3 \cdot 0,35 + 1}{4 \cdot 0,35} \right)^{0,33} \left(\frac{0,016^2 \cdot 1,2 \cdot 1031,36 \cdot 4013}{0,594 \cdot 8,3} \right)^{0,33} \left(\frac{0,03789}{0,025875} \right)^{0,14} =$$

$$= 12,07$$

$$Nu = \alpha \cdot \frac{d_u}{\lambda}$$

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{d_u} = \frac{0,5945 \cdot 12,07}{0,016} = 448,62 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$n_{c,pretp} = \frac{4 \cdot (qm_{R1} + qm_u)}{w \cdot d_u^2 \cdot \pi \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 59,494}{1,2 \cdot 0,016^2 \cdot \pi \cdot 1031,36} = 239,27$$

Odabrani broj cijevi:

$$n_c = 240$$

3.3.2.2 Na strani pare

Cijeli proračun zbog zahtjeva za jednakim jedinicama prvog i drugog stupnja kao primarnim parametrima za dobivanje potrebnih količina koncentriranog soka programiran je u Excel datoteci u kojoj je mijenjanjem tlakova isparavanja, potrebne temperature zagrijavanja recikracije, veličine, dužine i broja cijevi blansirani sustav koji funkcionira s dva jednaka izmjenjivača u oba stupnja uparivanja.

Odabrane cijevi

$$d_v = 18 \text{ mm}$$

$$d_u = 16 \text{ mm}$$

$$L = 8,3 \text{ m}$$

$$\text{broj prolaza} - n_p = 2$$

$$\text{broj cijevi} - n_c = 240$$

Trokut raspored i konstrukcija izmjenjivača prema *VDI Heat Atlas*.

$$OTL = \sqrt{n_p \cdot f_1 \cdot n_c \cdot t^2 + f_2 \cdot \sqrt{n_c} \cdot t + d_v} =$$

za trokut raspored:

$$f_1 = 1,1 \text{ mm}$$

za broj prolaza $n_p = 2$

$$f_2 = 22 \text{ mm}$$

za vanjski promjer $d_v = 18 \text{ mm}$

$$t = 26 \text{ mm}$$

$$OTL = \sqrt{2 \cdot 1,1 \cdot 240 \cdot 26^2 + 22 \cdot \sqrt{240} \cdot 26 + 18} = 603,9 \text{ mm}$$

Odabrani unutrašnji promjer plašta:

$$D_u = 620 \text{ mm}$$

Središnji kut: $\gamma = 180^\circ$

Broj cijevi u odsječku segmenta pregrade:

$$N_U = 240$$

Razmak između najbliže cijevi i plašta:

$$e_1 = 27 \text{ mm}$$

$$e = t - d_v = 26 - 18 = 8 \text{ mm}$$

Razmak između segmentnih pregrada u međuzoni:

$$L_M \geq 0.2 \cdot D_u$$

$$L_{M1} = 0.2 \cdot D_u = 0.2 \cdot 620 = 124 \text{ mm}$$

Odabrano: $L_M = 600 \text{ mm}$

Razmak između pregrade i plašta:

$$f = 2 \text{ mm} \quad (\text{VDI Heat atlas, Ob6/tab.6})$$

Konstanta za određivanje plašta:

$$C = 0.22 - \text{neobrađivani plašt}$$

Slobodni presjek strujanja u uzdužnoj zoni:

$$\begin{aligned} S_U &= \left(\frac{D_u^2}{8} \right) \cdot \left(\frac{\gamma \cdot \pi}{180} - \sin \gamma \right) - N_U \cdot \frac{d_v^2 \cdot \pi}{4} = \\ &= \left(\frac{0.620^2}{8} \right) \cdot \left(\frac{180 \cdot \pi}{180} - \sin 180^\circ \right) - 240 \cdot \frac{0.018^2 \cdot \pi}{4} = 0.012767 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Najuži presjek strujanja u međuzoni:

$$N_0 = 0$$

$$S_M = (D_u - N_0 \cdot d_v) \cdot L_M = (0.620 - 0 \cdot 0.018) \cdot 0.600 = 0.424 \text{ m}^2$$

Presjek S_D na koji se odnosi ekvivalentna brzina strujanja:

$$S_D = \sqrt{S_M \cdot S_U} = \sqrt{0.424 \cdot 0.012767} = 0.2327 \text{ m}^2$$

Ekvivalentna brzina strujanja pare:

$$w = \frac{qm_D}{S_D \cdot \rho_D} = \frac{0,519}{0,2327 \cdot 0,599} = 3,725 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Korišten model kondenzacije pare na horizontalnim stjenkama cijevi uzet je prema Butterworth metodi. [5]

$$\alpha_v = \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha_{sh}^2 + \left(\frac{1}{4} \cdot \alpha_{sh}^4 + \alpha_l^4 \right)^{1/2} \right]^{1/2} \cdot [N^{5/6} - (N-1)^{5/6}]$$

N – redovi cijevi

N = 12

$$\alpha_{sh} = 0,59 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot Re_f^{1/2}$$

$$\alpha_l = 0,728 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot \left[\frac{\rho_l \cdot (\rho_l - \rho_g) \cdot g \cdot \Delta h \cdot d_v^3}{\mu_l \cdot \Delta \vartheta \cdot \lambda_l} \right]^{1/4}$$

$$Re_f = \frac{\rho_l \cdot u \cdot d_v}{\mu_l}$$

$\Delta \vartheta$ razlika temperature pare i temperature stijenke cijevi dobivena je iterativnim postupkom pomoću programa Excel u kojem su povezane sve jednačbe i mijenjanjem parametara dobiven je $\Delta \vartheta = 1,7 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$q_u = \frac{\vartheta_{stj1} - \vartheta_{konc}}{\frac{d_u}{d_v \cdot \alpha_u} + \frac{d_u}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u}} = q_v = \frac{\vartheta_{pare} - \vartheta_{stj2}}{\frac{d_v}{d_u \cdot \alpha_v} + \frac{d_v}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u}}$$

Pretpostavljene su približne temperature stijenki $\vartheta_{stj1} \approx \vartheta_{stj2}$

Svojstva zasićene pare pri $100 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\rho_l = 958,387 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_g = 0,59 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_l = 0,6791 \text{ W/(m K)}$$

$$\mu_l = 282,3 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\mu_g = 12,28 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\Delta h = 2256,78 \text{ kJ/kg}$$

$$c_{pl} = 96,48 \text{ kJ/kg}$$

$$Re_f = \frac{\rho_l \cdot w \cdot d_v}{\mu_l} = \frac{958,387 \cdot 3,725 \cdot 0,018}{282,3 \cdot 10^{-6}} = 227629$$

$$\alpha_{sh} = 0,59 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot Re_f^{1/2} = 0,59 \cdot \frac{0,6791}{0,018} \cdot 227629^{1/2} = 10620 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\begin{aligned} \alpha_l &= 0,728 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot \left[\frac{\rho_l \cdot (\rho_l - \rho_g) \cdot g \cdot \Delta h \cdot d_v^3}{\mu_l \cdot \Delta \vartheta \cdot \lambda_l} \right]^{\frac{1}{4}} = \\ &= 0,728 \cdot \frac{0,6791}{0,018} \cdot \left[\frac{958,387 \cdot (958,387 - 0,59) \cdot 9,81 \cdot 2256,78 \cdot 1000 \cdot 0,018^3}{282,3 \cdot 10^{-6} \cdot 1,7 \cdot 0,6791} \right]^{\frac{1}{4}} = \\ &= 21329 \text{ W/(m}^2\text{K)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_v &= \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha_{sh}^2 + \left(\frac{1}{4} \cdot \alpha_{sh}^4 + \alpha_l^4 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[N^{\frac{5}{6}} - (N - 1)^{\frac{5}{6}} \right] = \\ &= \left[\frac{1}{2} \cdot 10620^2 + \left(\frac{1}{4} \cdot 10620^4 + 21329^4 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[12^{\frac{5}{6}} - (12 - 1)^{\frac{5}{6}} \right] \\ &= 12586 \text{ W/(m}^2\text{K)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_v &= \frac{1}{\frac{d_v}{d_u \cdot \alpha_u} + \frac{d_v}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u} + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{1}{\frac{0,018}{0,016 \cdot 448,41} + \frac{0,018}{2 \cdot 17} \ln \frac{0,018}{0,016} + \frac{1}{12586}} = \\ &= 416,32 \text{ W/(m}^2\text{K)} \end{aligned}$$

$$\Delta \vartheta_m = \frac{(\vartheta_2'' - \vartheta_1') - (\vartheta_2' - \vartheta_1'')}{\ln \frac{(\vartheta_2'' - \vartheta_1')}{(\vartheta_2' - \vartheta_1'')}} = \frac{(100 - 73) - (100 - 77)}{\ln \frac{(100 - 73)}{(100 - 77)}} = 24,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Potrebna površina za izmjenu topline:

$$A = \frac{\Phi}{k_v \cdot \Delta\vartheta_m} = \frac{(qm_{R1} + qm_u)(h_{R1} - h_{M1})}{k_v \cdot \Delta\vartheta \cdot 3600} =$$
$$= \frac{(210320,26 + 3857,143)(309,13 - 289,45)}{(416,32/1000) \cdot 24,95 \cdot 3600} = 112 \text{ m}^2$$

Potrebna dužina izmjenjivačkog dijela aparata:

$$L = \frac{A}{d_v \cdot \pi \cdot n_p \cdot n_c} = \frac{112}{0,018 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 240} = 4,13 \text{ m}$$

Zahtjev na dimenzije:

$$\frac{L}{D_s} = \frac{4,13}{0,632} = 6,53$$

Dozvoljeno (3-7)

3.4. Proračun 2. stupnja uparivanja

3.4.1. Bilanca mase i energije

Protoci:

qm_i – izlaz koncentrata soka rajčice

qm_{S1} – supara prvog stupnja

qm_x – međukoncentracija

qm_{R2} – recirkulacija drugog stupnja

qm_{S2} – supara drugog stupnja

Entalpije:

h_i – entalpija koncentrata soka rajčice

h_x – entalpija međukoncentracije soka rajčice

h_{S1} – entalpija supare prvog stupnja

h_{KS} – entalpija kondenzata supare prvog stupnja

h_{R2} – entalpija izmješanog svježeg soka i recirkulacije na izlazu iz izmjenjivača topline

h_{M2} – entalpija izmješanog svježeg soka i recirkulacije na ulazu u izmjenjivač topline

h_{S2} – entalpija supare drugog stupnja

ξ_u – koncentracija soka na izlazu

ξ_x – koncentracija soka u međukoncentraciji

Bilanca energije drugog stupnja:

$$(qm_x + qm_{R2}) \cdot h_{R2} = (qm_i + qm_{R2}) \cdot h_i + qm_{S2} \cdot h_{S2}$$

$$qm_{R2} \cdot h_{R2} + qm_x \cdot h_{R2} = qm_{R2} \cdot h_i + qm_i \cdot h_i + qm_{S2} \cdot h_{S2}$$

Recirkulacija drugog stupnja:

$$qm_{R2} = \frac{qm_{S2} \cdot h_{S2} + qm_i \cdot h_i - qm_x \cdot h_{R2}}{h_{R2} - h_i}$$

Potrebna količina otparivanja drugog stupnja iznosi:

$$qm_{S2} = qm_x - qm_i = 2378,57 - 900 = 1478,57 \text{ kg/h}$$

Uparivanje se vrši na 48,8 °C dok se recirkulirana masa zagrijava na 53,7°C, međukoncentracija ulazi s 73°C.

$$h_{R2} = \vartheta_{R2} \cdot c_i = 53,7 \cdot 3,728 = 200,44 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{S2} = 2631,99 \text{ kJ/kg}$$

$$h_x = 292,984 \text{ kJ/kg}$$

$$h_i = \vartheta_i \cdot c_i = 48,8 \cdot 3,728 = 181,95 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} qm_{R2} &= \frac{qm_{S2} \cdot h_{S2} + qm_i \cdot h_i - qm_x \cdot h_{R2}}{h_{R2} - h_i} = \\ &= \frac{1478,57 \cdot 2631,99 + 900 \cdot 181,95 - 2378,57 \cdot 200,44}{200,44 - 181,95} = 190196 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Potrebna snaga grijalice izmjenjivača drugog stupnja dobiva se iz postavljene bilance:

$$\begin{aligned} (qm_x + qm_{R2}) \cdot h_{M2} &= qm_x \cdot h_x + qm_{R2} \cdot h_i \\ h_{M2} &= \frac{qm_x \cdot h_x + qm_{R2} \cdot h_i}{(qm_x + qm_{R2})} = \frac{2378,57 \cdot 292,984 + 190196 \cdot 181,95}{(2378,57 + 190196)} = 183,32 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{((qm_x + qm_{R2}) \cdot (h_{R2} - h_{M2}))}{3600} = \frac{((2378,57 + 190196) \cdot (200,44 - 183,32))}{3600} \\ &= 915,66 \text{ kW} \end{aligned}$$

3.4.2. Proračun izmjenjivača topline 2. stupnja

3.4.2.1. Na strani koncentrata

Srednja temperatura izlaza i ulaza na izmjenjivaču iznosi 51,25 °C. Gustoća za zadanu temperaturu iznosi 1134,72 kg/m³, a koja se računa prema formuli:

$$\rho = \rho_w \cdot (1 - \xi) + \rho_s \cdot \xi \quad [3]$$

ρ – gustoća koncentrata

ρ_w – gustoća povezana s vodenim udjelom

ρ_s – gustoća povezana s udjelom rajčice

ϑ – srednja temperatura koncentrata

n – broj cijevi

$$\begin{aligned} \rho_w &= 9,9989 \cdot 10^2 - 6,0334 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 3,6710 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta^2 = \\ &= 9,9989 \cdot 10^2 - 6,0334 \cdot 10^{-2} \cdot 51,25 - 3,6710 \cdot 10^{-3} \cdot 51,25^2 = \\ &= 987,16 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_s &= 1,4693 \cdot 10^3 + 5,4667 \cdot 10^{-1} \cdot \vartheta - 6,9643 \cdot 6,9643 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta^2 = \\ &= 1,4693 \cdot 10^3 + 5,4667 \cdot 10^{-1} \cdot 51,25 - 6,9643 \cdot 6,9643 \cdot 10^{-3} \cdot 51,25^2 = \\ &= 1479 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\rho = \rho_w \cdot (1 - \xi_i) + \rho_s \cdot \xi_i = 987,16 \cdot (1 - 0,3) + 1479 \cdot 0,3 = 1134,72 \text{ kg/m}^3$$

Toplinska provodnost iznosi 0,559 W/(m² K). , a računa se preko eksperimentalne formule za koncentrat rajčice: [7]

$$\lambda = 0,482 + 0,0015 \cdot \vartheta = 0,482 + 0,0015 \cdot 51,25 = 0,559 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Brzina strujanja za odabrani promjer i broj cijevi u odnosu na količinu koncentrata od rajčice iznosi :

$$w = \frac{4 \cdot (qm_x + qm_{R2})}{d_u^2 \cdot \rho \cdot n \cdot \pi} = \frac{4 \cdot ((2378,57 + 190196))}{0,016^2 \cdot 1134,72 \cdot 240 \cdot \pi \cdot 3600} = 0,98 \text{ m/s}$$

Postupak izračuna jednak je kao i za prvi stupanj. [4]

Re – Reynoldsov broj

μ – dinamička viskoznost koncentrata

u_w – dinamička viskoznost na stjeci

Nu – Nusseltov broj

K, n – eksperimentalne konstante za zadanu koncentraciju i temperaturu

α_u – koeficijent prijelaza topline na strani koncentrata

Za dobivene parametre tekućine koeficijenti iznose: [6]

$$K = 15,1 \text{ Pa} \cdot \text{s}^n$$

$$n = 0,42$$

$$Re = \frac{8(w)^{2-n} R^n \rho}{K[(3n+1)/n]^n} = \frac{8(0,98)^{2-0,42} \cdot 0,008^{0,42} \cdot 1031,36}{15,1 \cdot \left[\frac{3 \cdot 0,42 + 1}{0,42} \right]^{0,42}} = 37,82$$

$$\mu = \frac{K}{4} \left[\frac{3n+1}{n} \right]^n R^{1-n} w^{n-1} =$$

$$= \frac{15,1}{4} [(3 \cdot 0,42 + 1)/0,42]^{0,42} \cdot 0,008^{1-0,42} \cdot 0,98^{0,42-1} = 0,4706 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\mu_w = K \left(\frac{2w}{d_u} \right)^{n-1} \left(\frac{3n+1}{n} \right)^{n-1} = 15,1 \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,98}{0,016} \right)^{0,42-1} \cdot \left(\frac{3 \cdot 0,42 + 1}{0,42} \right)^{0,42-1}$$

$$= 0,3498 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$Nu = 1,615 \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^{0,33} \left(\frac{d_u^2 \cdot w \cdot \rho \cdot c_p}{\lambda L} \right)^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} =$$

$$= 1,615 \cdot \left(\frac{3 \cdot 0,42 + 1}{4 \cdot 0,42} \right)^{0,33} \left(\frac{0,016^2 \cdot 0,98 \cdot 1134,72 \cdot 3728}{0,559 \cdot 10} \right)^{0,33} \left(\frac{0,4706}{0,3498} \right)^{0,14} = 11,15$$

$$Nu = \alpha \cdot \frac{D}{\lambda}$$

$$\alpha_u = \frac{\lambda \cdot Nu}{d_u} = \frac{0,559 \cdot 11,15}{0,016} = 389,58 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$$

3.4.2.2. Na strani pare

Kako se i u drugom stupnju uparivanja koristi jednaki izmjenjivač topline kao i u prvom stupnju, geometrijske karakteristike za proračun prijelaza topline na strani pare ostaju isti.

Ekvivalentna brzina strujanja pare:

$$w = \frac{qm_{s1}}{S_D \cdot \rho} = \frac{0,41}{0,2327 \cdot 0,225} = 7,84 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Korišten model kondenzacije pare na horizontalnim stjenkama cijevi uzet je prema Butterworth metodi jednakoj kao i za prvi stupanj. [5]

$\Delta\vartheta$ razlika temperature pare i temperature stijenke cijevi dobivena je iterativnim postupkom pomoću programa Excel u kojem su povezane sve jednadžbe i mijenjanjem parametara dobiveni $\Delta\vartheta = 1,3^\circ\text{C}$

$$q_u = \frac{\vartheta_{stj1} - \vartheta_{konc}}{\frac{d_u}{d_v \cdot \alpha_u} + \frac{d_u}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u}} = q_v = \frac{\vartheta_{pare} - \vartheta_{stj2}}{\frac{d_v}{d_u \cdot \alpha_v} + \frac{d_v}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u}}$$

Pretpostavljene su približne temperature stijenki $\vartheta_{stj1} \approx \vartheta_{stj2}$

Svojstva zasićene pare pri 73°C

$$\rho_l = 975,992 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_g = 0,225 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_l = 0,663 \text{ W/(m K)}$$

$$\mu_l = 402,82 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\mu_g = 11,318 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\Delta h = 2326,33 \text{ kJ/kg}$$

$$Re_f = \frac{\rho_l \cdot w \cdot d_v}{\mu_l} = \frac{975,992 \cdot 7,84 \cdot 0,018}{402,82 \cdot 10^{-6}} = 341920$$

$$\alpha_{sh} = 0,59 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot Re_f^{1/2} = 0,59 \cdot \frac{0,663}{0,018} \cdot 341920^{1/2} = 12707 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\alpha_l = 0,728 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot \left[\frac{\rho_l \cdot (\rho_l - \rho_g) \cdot g \cdot \Delta h \cdot d_v^3}{\mu_l \cdot \Delta\vartheta \cdot \lambda_l} \right]^{\frac{1}{4}} =$$

$$= 0,728 \cdot \frac{0,663}{0,018} \cdot \left[\frac{975,992 \cdot (975,992 - 0,225) \cdot 9,81 \cdot 2326,33 \cdot 1000 \cdot 0,018^3}{402,82 \cdot 10^{-6} \cdot 1,3 \cdot 0,663} \right]^{\frac{1}{4}} =$$

$$= 20850 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\alpha_v = \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha_{sh}^2 + \left(\frac{1}{4} \cdot \alpha_{sh}^4 + \alpha_l^4 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[N^{\frac{5}{6}} - (N - 1)^{\frac{5}{6}} \right] =$$

$$= \left[\frac{1}{2} \cdot 12707^2 + \left(\frac{1}{4} \cdot 12707^4 + 20850^4 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[12^{\frac{5}{6}} - (12 - 1)^{\frac{5}{6}} \right] =$$

$$= 12685 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{d_v}{d_u \cdot \alpha_u} + \frac{d_v}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u} + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{1}{\frac{0,018}{0,016 \cdot 389,58} + \frac{0,018}{2 \cdot 17} \ln \frac{0,018}{0,016} + \frac{1}{12685}} =$$

$$= 373,48 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\Delta\vartheta_m = \frac{(\vartheta_2'' - \vartheta_1') - (\vartheta_2' - \vartheta_1'')}{\ln \frac{(\vartheta_2'' - \vartheta_1')}{(\vartheta_2' - \vartheta_1'')}} = \frac{(73 - 48,8) - (73 - 53,7)}{\ln \frac{(73 - 48,8)}{(73 - 53,7)}} = 21,66 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$A = \frac{\Phi}{k_v \cdot \Delta\vartheta_m} = \frac{(qm_{R2} + qm_x)(h_{R2} - h_{M2})}{k_v \cdot \Delta\vartheta \cdot 3600} = \frac{(190196,8 + 2378,57)(200,44 - 181,95)}{\left(\frac{373,48}{1000}\right) \cdot 21,66 \cdot 3600}$$

$$= 112 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A}{d_v \cdot \pi \cdot n_p \cdot n_c} = \frac{112}{0,018 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 240} = 4,13 \text{ m}$$

$$\frac{L}{D_s} = \frac{4,13}{0,632} = 6,53$$

Dozvoljeno (3-7)

Temeljem pokušaja i odabira ulaznih parametara za dobivanje željene količine koncentracije na izlazu uz jednake jedinice izmjenjivača pomoću programiranja izračuna u Excel datoteci dobiveno je rješenje koje daje jednake potrebne površine izmjene topline u prvom i drugom stupnju. Za odabrane tlakove uparivanja i potrebnu količinu recirkuliranog koncentrata moguće je u pogon staviti jednake izmjenjivače tipa *Shell & Tube*.

4. PRORAČUN BAROMETRIČKOG KONDENZATORA

Količina supare : $qm_{s2} = 1478,57 \text{ kg/h}$

Temperatura supare: $\vartheta_{s2} = 48,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura rashladne vode: $\vartheta_w = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura kondenzata: $\vartheta_k = 48,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Specifični toplinski kapacitet rashladne vode $c_w = 4,179 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

Entalpija rashladne vode: $h_w = \vartheta_w \cdot c_w = 25 \cdot 4,179 = 104,475 \text{ kJ/kg}$

Entalpija kondenzata: $h_K = 204,33 \text{ kJ/kg}$

Entalpija supare: $h_{s2} = 2631,99 \text{ kJ/kg}$

Tlak kondenzacije: $p_K = 0,121 \text{ bar}$

Tlak okoline: $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$

Gustoća kondenzata : $\rho_K = 988,43 \text{ kg/h}$

Dinamička viskoznost kondenzata : $\mu_K = 583 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s}$

Temperatura kondenzata iznosi $48,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$qm_{s2} \cdot h_{s2} + qm_w \cdot h_w = (qm_{s2} + qm_w) \cdot h_K$$

$$h_w = 104,475 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{s2} = 2631,99 \text{ kJ/kg}$$

$$h_K = 204,33 \text{ kJ/kg}$$

$$qm_w = \frac{h_{s2} - h_K}{h_K - h_w} \cdot qm_{s2} = \frac{2631,99 - 204,33}{204,33 - 104,475} \cdot 1478,57 = 35946,78 \text{ kg/h}$$

4.1. Proračun barometričke cijevi

Odabrana barometrička cijev NO 125:

$$d_v = 139,7 \text{ mm}$$

$$d_u = 131,8 \text{ mm}$$

$$s = 4 \text{ mm}$$

Brzina vode u barometričkoj cijevi:

$$w = \frac{4 \cdot qm_W}{\pi \cdot d_u^2 \cdot \rho_K} = \frac{4 \cdot (35946,78/3600)}{\pi \cdot 0,1318^2 \cdot 988,43} = 0,74 \text{ m/s}$$

Reynoldsova značajka:

$$Re = w \cdot \frac{d_u \cdot \rho_K}{\mu_K} = 0,74 \cdot \frac{139,7 \cdot 988,43}{583 \cdot 10^{-6}} = 165357$$

Koeficijent trenja za turbulentno strujanje:

$$\lambda = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{k}{3,7 \cdot d_u} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} = \frac{1,325}{\left[\ln \left(\frac{0,02}{3,7 \cdot 131,8} + \frac{5,74}{165357^{0,9}} \right) \right]^2} = 0,0173$$

$$\Delta p_{pc} = \lambda \cdot \frac{L}{d_u} \cdot \frac{\rho_K \cdot w^2}{2} = 0,0173 \cdot \frac{10}{0,1318} \cdot \frac{988,43 \cdot 0,74^2}{2} = 355,23 \text{ Pa}$$

Visina barometričkog stupca:

$$H = \frac{\Delta p_0 + \Delta p_{pc} - \Delta p_k}{\rho_K \cdot g} = \frac{10^5 + 355,23 - 0,121 \cdot 10^5}{988,43 \cdot 9,81} = 9,1 \text{ m}$$

Sigurnosna dubina:

$$a \cdot b = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64 \text{ m}^2$$

$$h = \frac{d_u^2 \cdot \pi \cdot H}{4 \cdot a \cdot b} = \frac{0,1318^2 \cdot \pi \cdot 9,1}{4 \cdot 0,8 \cdot 0,8} = 0,194 \text{ m}$$

4.2. Odabir Rootovog puhala

Količina supare koja ulazi u barometrički kondenzator:

$$qm_{s2} = 1478,57 \text{ kg/h}$$

Gustoća supare:

$$\rho_{s2} = 0,0812 \text{ kg/m}^3$$

Volumni protok supare:

$$Q = \frac{qm_{s2}}{\rho_{s2}} = \frac{1478,57}{0,0812} = 18209 \text{ m}^3/\text{h}$$

Pretpostavljena količina nekondenzirajućih plinova u supari iznosi 2%.

$$Q_{np} = 0,02 \cdot 18209 = 364,18 \text{ m}^3/\text{h}$$

Odabrano rotaciono puhalo proizvođača Taiko Kikai serije SSR-V.

5. PRORAČUN ČVRSTOĆE IZMJENJIVAČA TOPLINE

5.1. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju unutrašnjeg tlaka (HRN M.E2.253)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

$$R_e = 195 \text{ N/mm}^2$$
$$R_m = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$5/6 R_e = 162,5 \text{ N/mm}^2 = K/S$$
$$1/3 R_m = 166 \text{ N/mm}^2$$

- parametri:

$D_s = 632 \text{ mm}$ – vanjski promjer plašta

$D_u = 620 \text{ mm}$ – unutarnji promjer plašta

$s_A = 6 \text{ mm}$ – debljina stijenke plašta (pretpostavljeno)

$p = 6 \text{ bar}$ – proračunski tlak

$\nu = 1$ – koeficijent valjanosti zavarenog spoja

$c_1 = 0$ – dozvoljeno odstupanje mjera

$c_2 = 1$ – dodatak zbog korozije

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu + p} + c_1 + c_2 = \frac{632 \cdot 6}{20 \cdot 162,5 \cdot 1 + 6} + 0 + 1 = 2.16 \text{ mm}$$

Odabrana debljina stijenke zadovoljava.

Proračun izreza na plaštu (HRN.M.E2.256)

- parametri:

$d_u = 300 \text{ mm}$ – unutarnji promjer priključka

$s_e = 3 \text{ mm}$ – debljina stijenke priključka

- uvjet primjene:

$$0.002 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = \frac{3 - 0 - 1}{632} = 0.008$$

-potrebna debljina stjenke oko najvećeg izreza:

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = \frac{4 - 0 - 1}{6 - 0 - 1} = 0,6$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - c_1 - c_2) \cdot (s_A - c_1 - c_2)}} =$$

$$\frac{300}{\sqrt{(620 + 6 - 0 - 1) \cdot (6 - 0 - 1)}} = 5,37$$

$v_A = 0.29$ – očitano iz dijagrama (slika 7.) dotične norme
prema prethodnim parametrima

-radno stanje;

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = \frac{632 \cdot 6}{20 \cdot 162,5 \cdot 0,29 + 6} + 0 + 1 = 4,99 \text{ mm}$$

$$s_A = 4,99 \text{ mm} \leq s_e = 6 \text{ mm} \text{ — ojačanje nije potrebno}$$

5.2. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju vanjskog tlaka (HRN M.E2.253)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

$$R_e = 195 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$5/6 R_e = 162,5 \text{ N/mm}^2 = K/S$$

$$1/3 R_m = 166 \text{ N/mm}^2$$

- parametri:

$D_s = 632 \text{ mm}$ – vanjski promjer plašta

$D_u = 620 \text{ mm}$ – unutarnji promjer plašta

$s_A = 6 \text{ mm}$ – debljina stijenke plašta (pretpostavljeno)

$p = 1 \text{ bar}$ – proračunski tlak

$\nu = 1$ – koeficijent valjanosti zavarenog spoja

$c_1 = 0$ – dozvoljeno odstupanje mjera

$c_2 = 1$ – dodatak zbog korozije

$l = 4143 \text{ mm}$ – dužina cilindra između djelotvornih ojačanja

$S_k = 3$ – sigurnosni stupanj u odnosu na elastično ulubljenje

$E = 210000 \text{ N/mm}^2$ – modul elastičnosti čelika

$u = 1,5\%$ – odstupanje od kružnog oblika

Za djelovanje vanjskog tlaka sigurnost se povećava 20%, time $f_d = K/S = 135,4 \text{ N/mm}^2$

Tlak pri elastičnom ulubljivanju:

$$z = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot D_s}{l} = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot 632}{4143} = 0,23$$

$$n = 1,63 \cdot \sqrt[4]{\frac{D_s^3}{l^2 \cdot (s_e - c_1 - c_1)}} = 1,63 \cdot \sqrt[4]{\frac{632^3}{4143^2 \cdot (6 - 0 - 1)}} = 2,09$$

$$p = \frac{E}{S_K} \cdot \left\{ \frac{20}{\left[((n-1)) \cdot \left(1 + \frac{n}{z}\right)^2 \right]^2} \cdot \frac{s_e - c_1 - c_1}{D_s} + \frac{80}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \nu}{1 + \left(\frac{n}{z}\right)^2} \right] \cdot \left[\frac{s_e - c_1 - c_1}{D_s} \right]^3 \right\} =$$

$$= \frac{210000}{3} \cdot \left\{ \frac{20}{\left[((2,09 - 1)) \cdot \left(1 + \frac{2,09}{0,23} \right)^2 \right]^2} \cdot \frac{6 - 0 - 1}{632} + \frac{80}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \right. \\ \left. \cdot \left[2,09^2 - 1 + \frac{2 \cdot 2,09^2 - 1 - 0,3}{1 + \left(\frac{2,09}{0,23} \right)^2} \right] \cdot \left[\frac{6 - 0 - 1}{632} \right]^3 \right\} = 2,131 \text{ bar}$$

Uvjet stjenke prema elastičnom ulubljenju zadovoljava.

Tlak za plastično ulubljenje za odnos:

$$\frac{D_s}{l} \leq 5$$

$$\frac{D_s}{l} = \frac{632}{4143} = 0,153$$

$$p = \frac{20 \cdot K}{S} \cdot \frac{s_e - c_1 - c_1}{D_s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1,5 \cdot u \cdot \left(1 - 0,2 \cdot \frac{D_s}{l} \right) \cdot D_s}{100 \cdot (s_e - c_1 - c_1)}} = \\ = \frac{20 \cdot 135,4}{1} \cdot \frac{6 - 0 - 1}{632} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1,5 \cdot 1,5 \cdot \left(1 - 0,2 \cdot \frac{632}{4143} \right) \cdot 632}{100 \cdot (6 - 0 - 1)}} = 5,7 \text{ bar}$$

Uvjet za plastično ulubljivanje zadovoljava.

5.3. Proračun podnica (HRN M.E2.252)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

$$\begin{aligned} R_e &= 195 \text{ N/mm}^2 \\ R_m &= 500 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5/6 R_e &= 162,5 \text{ N/mm}^2 = K/S \\ 1/3 R_m &= 166 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- parametri:

$D_s = 632 \text{ mm}$ – vanjski promjer podnice
 $s = 6 \text{ mm}$ – debljina stijenke podnice (pretpostavljeno)
 $p = 6 \text{ bar}$ – unutarnji proračunski tlak
 $p = 1 \text{ bar}$ – vanjski proračunski tlak
 $R = D_s = 632 \text{ mm}$ – radijus kalote
 $r = 63,2 \text{ mm}$ – radijus torusnog dijela
 $h_1 > 3,5s$ $h_1 = 100 \text{ mm}$ - visina cilindričnog dijela
 $h_2 = 0,1935 D_s - 0,455 s = 119,6 \text{ mm}$
 $f_d = K/S = 162,5 \text{ N/mm}^2$ – proračunska čvrstoća
 $c_1 = 0$ – dozvoljeno odstupanje mjera
 $c_2 = 1$ – dodatak zbog korozije
 $\nu = 1$ - koeficijent valjanosti zavarenog spoja

- uvjet primjene:

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq \frac{6 - 0 - 1}{632} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq 0.008 \leq 0.1$$

- proračunski koeficijent β :

(određuje se prema tablici 7. dotične norme)

$$\frac{d_u}{D_s} = 0$$

$$\beta_l = 2,8$$

-radno stanje;

$$s = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta_l}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu} + c_1 + c_2 = \frac{632 \cdot 6 \cdot 2,8}{40 \cdot 162,5 \cdot 1} + 0 + 1 = 2,63 \text{ mm}$$

$$s_e = 6 \text{ mm} > s = 2,63 \text{ mm}$$

(uvjet zadovoljen)

- elastično ulubljivanje

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0,008$$

prema slici 9. dotične norme podnica zadovoljava.

Za vanjski tlak $p = 1 \text{ bar}$

$$p \leq 3,66 \cdot \frac{E}{S_K} \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{R} \right)^2$$

$$S_K = 3 + 0,002 \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{R} \right)^{-1} = 3 + 0,002 \cdot \left(\frac{6 - 0 - 1}{632} \right)^{-1} = 3,25$$

$$p \leq 3,66 \cdot \frac{210000}{3,25} \cdot \left(\frac{6 - 0 - 1}{632} \right)^2 = 14,8 \text{ bar}$$

Otpornost podnice na plastične deformacije pri djelovanju vanjskog tlaka zadovoljava.

5.4. Proračun cijevne stijenke (HRN M.E2.259)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

$$R_e = 195 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$5/6 R_e = 162,5 \text{ N/mm}^2 = K/S$$

$$1/3 R_m = 166 \text{ N/mm}^2$$

- parametri:

$p = 6 \text{ bar}$ – proračunski tlak

$s_A = 20 \text{ mm}$ - pretpostavljena debljina cijevne stijenke

$E = 210000 \text{ N/mm}^2$ - modul elastičnosti čelika

$L = 1.4 \text{ m}$ - duljina plašta

$l_o = 4,143 \text{ m}$ - maksimalna duljina izvijanja

$l_k = 0.5 \cdot l_o = 0.7 \cdot 4,143 = 2,0715 \text{ m}$ – slobodna duljina izvijanja

$d_2 = 36 \text{ mm}$ - promjer najvećeg kruga upisanog u dio sa cijevima

$d_v = 18 \text{ mm}$ - vanjski promjer cijevi

$d_u = 16 \text{ mm}$ - unutarnji promjer cijevi

$t = 26 \text{ mm}$ - korak između cijevi

$f_d = K/S = 162,5 \text{ N/mm}^2$ – proračunska čvrstoća

DEBLJINA CIJEVNE STIJENKE:

$$s = 0,4 \cdot d_2 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot S}{10 \cdot K}} = 0,4 \cdot 36 \cdot \sqrt{\frac{6}{10 \cdot 162,5}} = 0,87 \text{ mm}$$

Odabire se debljina stijenke 27 mm iz konstrukcijskih razloga (uvaljavanje cijevi, zavarivanje na plašt, zatezanje vijaka...)

ZAVARIVANJE CIJEVI NA STIJENKU

- površina za izračun sile F_R prema Slici 12. iz norme iznosi:

$$A_R = \frac{13 \cdot 22,157}{2} \cdot 4 - \frac{d_v^2 \cdot \pi}{4} = \frac{13 \cdot 22,157}{2} \cdot 4 - \frac{18^2 \cdot \pi}{4} = 576 \text{ mm}^2$$

- sila cijevi:

$$F_R = A_R \cdot p = 0.000576 \cdot 600000 = 345,6 \text{ N}$$

Minimalna debljina šava zavarenog spoja cijevi:

$$g = 0,4 \cdot \frac{F_R \cdot S}{d_s \cdot K} = 0,4 \cdot \frac{345,6}{18 \cdot 162,5} = 0,47 \text{ mm}$$

PROVJERA CIJEVI NA IZVIJANJE:

- stupanj vitkosti:

$$\lambda = \frac{4 \cdot l_k}{\sqrt{d_v^2 + d_u^2}} = \frac{4 \cdot 2071,5}{\sqrt{18^2 + 16^2}} = 344$$

$$\lambda_0 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{Re}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{195}} = 103$$

$$\lambda = 344 > \lambda_0 = 103$$

- dopuštena sila izvijanja:

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_k^2 \cdot 3} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1936}{2071,5^2 \cdot 3} = 312 \text{ N}$$

aksijalni moment tromosti:

$$I = \frac{\left(\frac{d_v}{2}\right)^4 - \left(\frac{d_u}{2}\right)^4}{4} \cdot \pi = \frac{\left(\frac{18}{2}\right)^4 - \left(\frac{16}{2}\right)^4}{4} \cdot \pi = 1936 \text{ mm}^2$$

$$F_R > F_k$$

- debljina stijenke

$$s = C \cdot \sqrt{\frac{(D_u^2 - n \cdot d_u^2) \cdot p_i \cdot S}{v \cdot 10 \cdot K}} = 0.4 \cdot \sqrt{\frac{(620^2 - 480 \cdot 16^2) \cdot 6}{0.423 \cdot 10 \cdot 162,5}} = 19.11 \text{ mm}$$

C = 0,4 – proračunski koeficijent iz Tablice 1. norme

$$\frac{d_s}{d_u} = 1.2$$

$$v = \frac{t - d_u}{t} = \frac{26 - 16}{26} = 0.423$$

Usvojena debljina cijevne stijenke je:

$$s = 27 \text{ mm}$$

5.5. Proračun ravne prirubnice za zavarivanje (HRN M.E2.258)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

$$R_e = 195 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$5/6 R_e = 162,5 \text{ N/mm}^2 = K/S$$

$$1/3 R_m = 166 \text{ N/mm}^2$$

-parametri: (prema slici 6 dotične norme)

$h'_f = 28 \text{ mm}$ - pretpostavljena visina prirubnice

$d_u = 632 \text{ mm}$ - unutarnji promjer prirubnice

$d_s = 760 \text{ mm}$ - vanjski promjer prirubnice

$d_d = 660 \text{ mm}$ - srednji promjer brtve

$d_t = 710 \text{ mm}$ - promjer kruga rupa

$s_l = 6 \text{ mm}$ - debljina stijenke podnice

$p = 6 \text{ bar}$ - proračunski tlak

$d_L = 26 \text{ mm}$ - promjer rupa za vijke

$d'_L = 26 \cdot v = 26 \cdot 0.5 = 13 \text{ mm}$ - umanjeni promjer rupa

$v = 0.5$ – faktor umanjenja promjera rupa za vijke (prema slici 3)

-korisna dvostruka širina prirubnice:

$$b = d_s - d_u - 2 \cdot d'_L = 760 - 632 - 2 \cdot 13 = 102 \text{ mm}$$

-pomoćna vrijednost:

$$Z = (d_u + s_l) \cdot s_l^2 = (632 + 6) \cdot 6^2 = 22968 \text{ mm}^3$$

-krak djelovanja sile u vijku za:

radno stanje i ispitni tlak:

$$a = \frac{d_t - d_u - s_l}{2} = \frac{710 - 632 - 6}{2} = 36 \text{ mm}$$

za ugradbeno stanje:

$$a_D = \frac{d_t - d_d}{2} = \frac{710 - 660}{2} = 25 \text{ mm}$$

RADNO STANJE:

$$W = \frac{F_{SB} \cdot S}{K} \cdot a = \frac{235130}{165,5} \cdot 36 = 51146 \text{ mm}^3$$

ISPITNO STANJE:

$$W = \frac{F_{Sbi} \cdot S}{K} \cdot a = \frac{305668}{165,5} \cdot 36 = 66490 \text{ mm}^3$$

UGRADNO STANJE:

$$W = \frac{F'_{DV} \cdot S'}{K} \cdot a_D = \frac{430358}{165,5} \cdot 25 = 65009 \text{ mm}^3$$

-potrebna visina prirubnice:

$$h_f = \sqrt{\frac{1.42 \cdot W - Z}{b}} = \sqrt{\frac{1.42 \cdot 66490 - 22968}{102}} = 26,5 \text{ mm}$$

ODABIR PRIRUBNICE:

- odabrana visina prirubnice je 27 mm

5.6. Proračun vijaka (HRN M.E2.257)

- materijal vijka: čelik za vijke, razred čvrstoće 5.6
- materijal brtve: It (Klingerit)
- parametri:

$b_d = 20 \text{ mm}$ - korisna širina brtve

$d_D = 660 \text{ mm}$ - srednji promjer brtve

$d_u = 632 \text{ mm}$ - unutarnji promjer prirubnice

$p = 6 \text{ bar}$ - proračunski tlak

$K_{20} = 300 \text{ N/mm}^2$ - proračunska čvrstoća vijka materijala (5.6)
(strojarski priručnik, Kraut, str. 718)

$S_D = 1.2$ - sigurnost vijka

$k_1 = b_d = 20 \text{ mm}$ - koeficijent klingerit brtve za radno stanje

$n = 20$ – broj vijaka

Proračun sile u vijcima

- najmanja sila u vijcima za:

RADNO STANJE:

$$F_{RB} = \frac{p \cdot \pi \cdot d_u^2}{40} = \frac{6 \cdot \pi \cdot 632^2}{40} = 188224 \text{ N}$$

$$F_{FB} = \frac{p \cdot \pi \cdot (d_D^2 - d_u^2)}{40} = \frac{6 \cdot \pi \cdot (660^2 - 632^2)}{40} = 17048 \text{ N}$$

$$F_{DB} = \frac{p}{10} \cdot \pi \cdot d_D \cdot S_D \cdot k_1 = \frac{6}{10} \cdot \pi \cdot 660 \cdot 1.2 \cdot 20 = 29858 \text{ N}$$

$$F_{SB} = F_{RB} + F_{FB} + F_{DB} = 235130 \text{ N}$$

ISPITNO STANJE:

$$F_{RBi} = 1.3 \cdot F_{RB} = 244691 \text{ N}$$

$$F_{FBi} = 1.3 \cdot F_{FB} = 22162 \text{ N}$$

$$F_{DBi} = 1.3 \cdot F_{DB} = 38815 \text{ N}$$

$$F_{SBi} = F_{RBi} + F_{FBi} + F_{DBi} = 305668 \text{ N}$$

UGRADNO STANJE:

$$\text{-koeficijent } k_0 \cdot K_D = 15 \cdot b_D = 15 \cdot 20 = 300 \text{ N/mm}$$

$$F_{DV} = \pi \cdot d_D \cdot K_D \cdot k_0 = \pi \cdot 660 \cdot 300 = 622035 \text{ N}$$

- $F_{DV} > F_{SB}$ pa vrijedi:

$$F'_{DV} = 0.2 \cdot F_{DV} + 0.8 \cdot \sqrt{F_{SB} \cdot F_{DV}} =$$

$$= 0.2 \cdot 622035 + 0.8 \cdot \sqrt{235130 \cdot 622035} = 430358 \text{ N}$$

Proračun promjera vijka

RADNO STANJE:

$$d_k = d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K_{20} \cdot n}} + c_5$$

za radno stanje, $\varphi = 1$, vijci s punim tijelom $Z = 1.51$:

$$Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K_{20} \cdot n}} = 1.51 \cdot \sqrt{\frac{235130}{300 \cdot 12}} = 6,26 \leq 26 \text{ mm}$$

iz toga slijedi:

$$c_5 = 3 \text{ mm}$$

$$d_k = d_s = 7 + 3 = 10 \text{ mm}$$

ISPITNO STANJE:

za ispitno stanje, $\varphi = 1$, vijci s punim tijelom $Z = 1.29$:

$$d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SBi}}{K_{20} \cdot n}} = 1.29 \cdot \sqrt{\frac{672929}{300 \cdot 20}} = 6.43 \text{ mm}$$

UGRADNO STANJE:

za ugradno stanje, $\varphi = 1$, vijci s punim tijelom $Z = 1.29$:

$$d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{DV}}{K_{20} \cdot n}} = 1.29 \cdot \sqrt{\frac{672929}{315 \cdot 12}} = 13,66 \text{ mm}$$

Odabrani vijci M24 materijala 5.6 (IPIM 4-386) – ISO 4014
i matice M24 materijala 5 – ISO 4032

6. PRORAČUN SEPARATORA

6.1. Proračun konusnih plaštova izvrnutih unutrašnjem ili vanjskom tlaku (HRN M.E2.251)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

$$\begin{aligned} R_e &= 195 \text{ N/mm}^2 \\ R_m &= 500 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5/6 R_e &= 162,5 \text{ N/mm}^2 = K/S \\ 1/3 R_m &= 166 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- parametri:

$p = 2 \text{ bar}$ – proračunski unutarnji tlak

$p = 1 \text{ bar}$ – proračunski vanjski tlak

$s_e = 5 \text{ mm}$ - pretpostavljena debljina cijevne stijenke

$E = 210000 \text{ N/mm}^2$ - modul elastičnosti čelika

$D_S = 1008 \text{ mm}$ – vanjski promjer

$\varphi = 60,66^\circ$ - kut konusa

$\psi = 29,44^\circ$ – kut otklona

$D_K = 998 \text{ mm}$ – proračunski promjer, unutarnji promjer za izvedeni tip

$c_1 = 0$ – dozvoljeno odstupanje mjera

$c_2 = 1$ – dodatak zbog korozije

$\nu = 1$ - koeficijent valjanosti zavarenog spoja

$$f_d = K/S = 162,5 \text{ N/mm}^2 \text{ – proračunska čvrstoća}$$

- uvjet primjene:

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} \leq 0.1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} = \frac{5 - 0 - 1}{1008} = 0.004$$

Za djelovanje vanjskog tlaka sigurnost se povećava 20%, time $f_d = K/S = 135,4 \text{ N/mm}^2$

$$c_3 = 2 \cdot \left(1 - \frac{50}{D_S}\right) = 2 \cdot \left(1 - \frac{50}{1008}\right) = 1,9 \text{ mm}$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} < 0.005$$

Zbog čega slijedi:

$$c_4 = 1 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot D_s^2 = 1 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot 1008^2 = 1,2 \text{ mm}$$

Proračun prema naprezanju u smjeru izvodnice plašta na vanjski proračunski tlak za plašt bez prijevoja.

Prema normi $\beta = 2,7$.

$$s = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu} + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = \frac{1008 \cdot 1 \cdot 2,7}{40 \cdot 135,4 \cdot 1} + 0 + 1 + 1,8 + 1,2 = 4,5 \text{ mm}$$

Proračun prema naprezanju u smjeru izvodnice plašta na unutarnji proračunski tlak za plašt bez prijevoja.

Prema normi $\beta = 2,7$.

$$s = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu} + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = \frac{1008 \cdot 2 \cdot 2,7}{40 \cdot 165,5 \cdot 1} + 0 + 1 + 0 + 1,2 = 3 \text{ mm}$$

Proračun prema naprezanju u cirkularnom smjeru na vanjski proračunski za plašt bez prijevoja.

Prema normi $\beta = 2,7$.

$$s = \frac{D_K \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu - p} \cdot \frac{1}{\cos \varphi} + c_1 + c_2 = \frac{998 \cdot 1}{20 \cdot 135,4 \cdot 1 - 1} \cdot \frac{1}{\cos (29,44)} + 0 + 1 = 1,43 \text{ mm}$$

Proračun prema naprezanju u cirkularnom smjeru na unutarnji proračunski tlak za plašt bez prijevoja.

Prema normi $\beta = 2,7$

$$s = \frac{D_K \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu - p} \cdot \frac{1}{\cos \varphi} + c_1 + c_2 = \frac{998 \cdot 2}{20 \cdot 165,5 \cdot 1 - 2} \cdot \frac{1}{\cos (29,44)} + 0 + 1 = 1,7 \text{ mm}$$

Odabrana debljina stjenke zadovoljava

6.2. Proračun izreza na konusnom plaštu (HRN.M.E2.256)

- uvjet primjene:

$$0.002 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = \frac{5 - 0 - 1}{1008} = 0.004$$

-potrebna debljina stijenke oko najvećeg izreza:

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = \frac{4 - 0 - 1}{5 - 0 - 1} = 0,75$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - c_1 - c_2) \cdot (s_A - c_1 - c_2)}} = \frac{211,1}{\sqrt{(998 + 5 - 0 - 1) \cdot (5 - 0 - 1)}} = 3,33$$

$v_A = 0.45$ – očitano iz dijagrama (slika 7.) dotične norme
prema prethodnim parametrima

-radno stanje;

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = \frac{1008 \cdot 2}{20 \cdot 162,5 \cdot 0,45 + 2} + 0 + 1 = 2,38 \text{ mm}$$

$$s_A = 2,38 \text{ mm} \leq s_e = 5 \text{ mm} \text{ — ojačanje nije potrebno}$$

6.3. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju vanjskog tlaka (HRN M.E2.253)

- materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

$$R_e = 195 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$5/6 R_e = 162,5 \text{ N/mm}^2 = K/S$$

$$1/3 R_m = 166 \text{ N/mm}^2$$

$D_s = 1008 \text{ mm}$ – vanjski promjer plašta

$D_u = 998 \text{ mm}$ – unutarnji promjer plašta

$s_A = 5 \text{ mm}$ – debljina stijenke plašta (pretpostavljeno)

$p = 1 \text{ bar}$ – proračunski tlak

$\nu = 1$ – koeficijent valjanosti zavarenog spoja

$c_1 = 0$ – dozvoljeno odstupanje mjera

$c_2 = 1$ – dodatak zbog korozije

$l = 1300 \text{ mm}$ – dužina cilindra između djelotvornih ojačanja

$S_k = 3$ – sigurnosni stupanj u odnosu na elastično ulubljenje

$E = 210000 \text{ N/mm}^2$ – modul elastičnosti čelika

$u = 1,5\%$ – odstupanja od kružnog oblika

Za djelovanje vanjskog tlaka sigurnost se povećava 20%, time $f_d = K/S = 135,4 \text{ N/mm}^2$

Tlak pri elastičnom ulubljivanju:

$$z = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot D_s}{l} = 0,5 \cdot \frac{\pi \cdot 1008}{1300} = 1,22$$

$$n = 1,63 \cdot \sqrt[4]{\frac{D_s^3}{l^2 \cdot (s_e - c_1 - c_1)}} = 1,63 \cdot \sqrt[4]{\frac{1008^3}{1300^2 \cdot (5 - 0 - 1)}} = 5,72$$

$$p = \frac{E}{S_K} \cdot \left\{ \frac{20}{\left[\left((n-1) \cdot \left(1 + \frac{n}{z} \right)^2 \right)^2 \right]} \cdot \frac{s_e - c_1 - c_1}{D_s} + \frac{80}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \nu}{1 + \left(\frac{n}{z} \right)^2} \right] \right. \\ \left. \cdot \left[\frac{s_e - c_1 - c_1}{D_s} \right]^3 \right\} =$$

$$= \frac{210000}{3} \cdot \left\{ \frac{20}{\left[((5,72 - 1)) \cdot \left(1 + \frac{5,72}{1,22} \right)^2 \right]^2} \cdot \frac{5 - 0 - 1}{1008} + \frac{80}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} \right. \\ \left. \cdot \left[5,72^2 - 1 + \frac{2 \cdot 5,72^2 - 1 - 0,3}{1 + \left(\frac{5,72}{1,22} \right)^2} \right] \cdot \left[\frac{5 - 0 - 1}{1008} \right]^3 \right\} = 2,16 \text{ bar}$$

Uvjet stjenke prema elastičnom ulubljenju zadovoljava.

Tlak za plastično ulubljenje za odnos:

$$\frac{D_s}{l} \leq 5$$

$$\frac{D_s}{l} = \frac{1008}{1300} = 0,78$$

$$p = \frac{20 \cdot K}{S} \cdot \frac{s_e - c_1 - c_1}{D_s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1,5 \cdot u \cdot \left(1 - 0,2 \cdot \frac{D_s}{l} \right) \cdot D_s}{100 \cdot (s_e - c_1 - c_1)}} = \\ = \frac{20 \cdot 135,4}{1} \cdot \frac{5 - 0 - 1}{1008} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1,5 \cdot 1,5 \cdot \left(1 - 0,2 \cdot \frac{1008}{1300} \right) \cdot 1008}{100 \cdot (5 - 0 - 1)}} = 1,86 \text{ bar}$$

Uvjet za plastično ulubljivanje zadovoljava.

6.4. Proračun podnice 1. stupnja (HRN M.E2.252)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

$$\begin{aligned} R_e &= 195 \text{ N/mm}^2 \\ R_m &= 500 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5/6 R_e &= 162,5 \text{ N/mm}^2 = K/S \\ 1/3 R_m &= 166 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- parametri:

$D_s = 1008 \text{ mm}$ – vanjski promjer podnice
 $s = 5 \text{ mm}$ – debljina stijenke podnice (pretpostavljeno)
 $p = 2 \text{ bar}$ – unutarnji proračunski tlak
 $p = 1 \text{ bar}$ – vanjski proračunski tlak
 $R = D_s = 1008 \text{ mm}$ – radijus kalote
 $r = 100,8 \text{ mm}$ – radijus torusnog dijela
 $h_1 > 3,5s$ $h_1 = 24 \text{ mm}$ - visina cilindričnog dijela
 $h_2 = 0,1935 D_s - 0,455 s = 193,2 \text{ mm}$
 $f_d = K/S = 162,5 \text{ N/mm}^2$ – proračunska čvrstoća
 $c_1 = 0$ – dozvoljeno odstupanje mjera
 $c_2 = 1$ – dodatak zbog korozije
 $\nu = 1$ - koeficijent valjanosti zavarenog spoja
 $d_u = 300 \text{ mm}$ – unutarnji promjer priključka

- uvjet primjene:

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq \frac{5 - 0 - 1}{1008} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq 0.004 \leq 0.1$$

- proračunski koeficijent β :

(određuje se prema tablici 7. dotične norme)

$$\frac{d_u}{D_s} = \frac{300}{1008} = 0,3$$

$$\beta_l = 6,5$$

-radno stanje;

$$s = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta_l}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu} + c_1 + c_2 = \frac{1008 \cdot 2 \cdot 6,5}{40 \cdot 162,5 \cdot 1} + 0 + 1 = 3 \text{ mm}$$

$$s_e = 5 \text{ mm} > s = 3 \text{ mm}$$

(uvjet zadovoljen)

- elastično ulubljivanje

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0.004$$

prema slici 9. dotične norme podnica zadovoljava.

Za vanjski tlak $p = 1 \text{ bar}$

$$p \leq 3,66 \cdot \frac{E}{S_K} \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{R} \right)^2$$

$$S_K = 3 + 0,002 \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{R} \right)^{-1} = 3 + 0,002 \cdot \left(\frac{5 - 0 - 1}{1008} \right)^{-1} = 3,5$$

$$p \leq 3,66 \cdot \frac{210000}{3,5} \cdot \left(\frac{5 - 0 - 1}{1008} \right)^2 = 3,46 \text{ bar}$$

Otpornost podnice na plastične deformacije pri djelovanju vanjskog tlaka zadovoljava.

Debljina najvećeg izreza $d_u = 300$ mm

Izrez na području kalote računa se prema (HRN.M.E2.256)
- uvjet primjene:

$$0.002 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = \frac{5 - 0 - 1}{1008} = 0.004$$

-potrebna debljina stjenke oko najvećeg izreza:

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = \frac{3 - 0 - 1}{5 - 0 - 1} = 0,5$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - c_1 - c_2) \cdot (s_A - c_1 - c_2)}} = \frac{300}{\sqrt{(988 + 5 - 0 - 1) \cdot (5 - 0 - 1)}} = 4,76$$

$v_A = 0,38$ – očitano iz dijagrama (slika 7.) dotične norme
prema prethodnim parametrima

-ispitno stanje;

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = \frac{1008 \cdot 2}{20 \cdot 162,5 \cdot 0,38 + 2} + 0 + 1 = 2,63 \text{ mm}$$

$$s_A = 2,63 \text{ mm} \leq s_e = 5 \text{ mm} \text{ — ojačanje nije potrebno}$$

6.5. Proračun podnice 2. stupnja (HRN M.E2.252)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

$$R_e = 195 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$5/6 R_e = 162,5 \text{ N/mm}^2 = K/S$$

$$1/3 R_m = 166 \text{ N/mm}^2$$

- parametri:

$D_s = 1008 \text{ mm}$ – vanjski promjer podnice
 $s = 5 \text{ mm}$ – debljina stijenke podnice (pretpostavljeno)
 $p = 2 \text{ bar}$ – unutarnji proračunski tlak
 $p = 1 \text{ bar}$ – vanjski proračunski tlak
 $R = D_s = 1008 \text{ mm}$ – radijus kalote
 $r = 100,8 \text{ mm}$ – radijus torusnog dijela
 $h_1 > 3.5s$ $h_1 = 24 \text{ mm}$ - visina cilindričnog dijela
 $h_2 = 0.1935 D_s - 0.455 s = 193,2 \text{ mm}$
 $f_d = K/S = 162,5 \text{ N/mm}^2$ – proračunska čvrstoća
 $c_1 = 0$ – dozvoljeno odstupanje mjera
 $c_2 = 1$ – dodatak zbog korozije
 $\nu = 1$ - koeficijent valjanosti zavarenog spoja
 $d_u = 398,4 \text{ mm}$ – unutarnji promjer priključka

- uvjet primjene:

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq \frac{5 - 0 - 1}{1008} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq 0.004 \leq 0.1$$

- proračunski koeficijent β :

(određuje se prema tablici 7. dotične norme)

$$\frac{d_u}{D_s} = \frac{398,4}{1008} = 0,4$$

$$\beta_l = 7,8$$

-radno stanje;

$$s = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta_l}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu} + c_1 + c_2 = \frac{1008 \cdot 2 \cdot 7,8}{40 \cdot 162,5 \cdot 1} + 0 + 1 = 3,42 \text{ mm}$$

$$s_e = 5 \text{ mm} > s = 3,42 \text{ mm}$$

(uvjet zadovoljen)

- elastično ulubljivanje

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0.004$$

prema slici 9. dotične norme podnica zadovoljava.

Za vanjski tlak $p = 1 \text{ bar}$

$$p \leq 3,66 \cdot \frac{E}{S_K} \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{R} \right)^2$$

$$S_K = 3 + 0,002 \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{R} \right)^{-1} = 3 + 0,002 \cdot \left(\frac{5 - 0 - 1}{1008} \right)^{-1} = 3,5$$

$$p \leq 3,66 \cdot \frac{210000}{3,5} \cdot \left(\frac{5 - 0 - 1}{1008} \right)^2 = 3,46 \text{ bar}$$

Otpornost podnice na plastične deformacije pri djelovanju vanjskog tlaka zadovoljava.

Debljina najvećeg izreza $d_u = 398,4$ mm

Izrez na području kalote računa se prema (HRN.M.E2.256)
- uvjet primjene:

$$0.002 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = \frac{5 - 0 - 1}{1008} = 0.004$$

-potrebna debljina stijenke oko najvećeg izreza:

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = \frac{4 - 0 - 1}{5 - 0 - 1} = 0,75$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - c_1 - c_2) \cdot (s_A - c_1 - c_2)}} = \frac{398,4}{\sqrt{(988 + 5 - 0 - 1) \cdot (5 - 0 - 1)}} = 6,32$$

$v_A = 0,39$ – očitano iz dijagrama (slika 7.) dotične norme
prema prethodnim parametrima

-ispitno stanje;

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v + p} + c_1 + c_2 = \frac{1008 \cdot 2}{20 \cdot 162,5 \cdot 0,39 + 2} + 0 + 1 = 1,6 \text{ mm}$$

$$s_A = 1,6 \text{ mm} \leq s_e = 5 \text{ mm} \text{ — ojačanje nije potrebno}$$

7. PRORAČUN PRIKLJUČAKA

7.1. Proračun priključaka za izmjenjivač topline

Priključak ulaska koncentrata 1. i 2. stupnja

- odabrana je Inox šavna cijev EN 10027-2 (Ø219,1x4mm),
materijal: W.Nr. 1.4301

$$d_u = 211,1 \text{ mm}$$

$$d_v = 219,1 \text{ mm}$$

Brzina prvog stupnja na ulasku:

$$w = \frac{4 \cdot qm_{R1}}{\pi \cdot d_u^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot (210320,26/3600)}{\pi \cdot 0,2111^2 \cdot 1032,25} = 1,65 \text{ m/s}$$

Brzina drugog stupnja na ulasku:

$$w = \frac{4 \cdot qm_{R2}}{\pi \cdot d_u^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot (190196/3600)}{\pi \cdot 0,2111^2 \cdot 1135,56} = 1,35 \text{ m/s}$$

Priključak ulaska pare 1. i 2. stupnja

- odabrana je Inox šavna cijev EN 10027-2 (Ø306x3mm),
materijal: W.Nr. 1.4301

$$d_u = 300 \text{ mm}$$

$$d_v = 306 \text{ mm}$$

Brzina prvog stupnja:

$$w = \frac{4 \cdot qm_D}{\pi \cdot d_u^2 \cdot \rho_D} = \frac{4 \cdot (1868,3/3600)}{\pi \cdot 0,3^2 \cdot 0,5989} = 12,3 \text{ m/s}$$

Brzina drugog stupnja

$$w = \frac{4 \cdot qm_{S1}}{\pi \cdot d_u^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot (1478,57/3600)}{\pi \cdot 0,3^2 \cdot 0,225} = 25 \text{ m/s}$$

Priključak izlaska kondenzata 1. i 2. stupnja

- odabrana je Inox bešavna cijev EN 10027-2 (Ø38x2mm),
materijal: W.Nr. 1.4301

$$d_u = 34 \text{ mm}$$

$$d_v = 38 \text{ mm}$$

Brzina prvog stupnja:

$$w = \frac{4 \cdot qm_K}{\pi \cdot d_u^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot (1868,3/3600)}{\pi \cdot 0,034^2 \cdot 958,38 \cdot 2} = 0,3 \text{ m/s}$$

Brzina drugog stupnja:

$$w = \frac{4 \cdot qm_K}{\pi \cdot d_u^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot (1478,57/3600)}{\pi \cdot 0,034^2 \cdot 976 \cdot 2} = 0,23 \text{ m/s}$$

7.2. Proračun priključaka za separator

Priključak izlaska pare 1. stupnja

- odabrana je Inox šavna cijev EN 10027-2 (Ø306x3mm),
materijal: W.Nr. 1.4301

$$d_u = 300 \text{ mm};$$

$$d_v = 306 \text{ mm}$$

$$w = \frac{4 \cdot qm_{s1}}{\pi \cdot d_u^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot (1478,57/3600)}{\pi \cdot 0,3^2 \cdot 0,225} = 25 \text{ m/s}$$

Priključak izlaska pare 2. stupnja

- odabrana je Inox šavna cijev EN 10027-2 (Ø406,40x4mm),
materijal: W.Nr. 1.4301

$$d_u = 398,4 \text{ mm};$$

$$d_v = 406,4 \text{ mm}$$

$$w = \frac{4 \cdot qm_2}{\pi \cdot d_u^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot (1478,57/3600)}{\pi \cdot 0,3984^2 \cdot 0,0812} = 40,6 \text{ m/s}$$

Priključci ulaska i izlaska koncentrata jednaki su kao i priključci izlaska i ulaska koncentrata u izmjenjivač topline.

8. PRORAČUN PADA TLAKA

8.1. Prvog stupnja

8.1.1. Na tlačnoj strani

Pad tlaka u izmjenjivaču topline

- pad tlaka u izmjenjivaču sastoji se od:

$$\Delta p_{iz} = \Delta p_{pr} + \Delta p_{cs} + \Delta p_c$$

Δp_{pr} - pad tlaka u priključcima

Δp_{cs} - pad tlaka na ulazu i izlazu iz cijevnog snopa (uključujući broj prolaza)

Δp_c - pad tlaka uslijed strujanja kroz cijevi

Pad tlaka u priključcima

$\zeta_u = 0.5$ - koeficijent otpora na ulazu u priključak

$\zeta_i = 1$ - koeficijent otpora na izlazu iz priključka

$$\Delta p_{pr} = (\zeta_u + \zeta_i) \cdot \frac{\rho \cdot w_{pr}^2}{2} = (0.5 + 1) \cdot \frac{1031,1 \cdot 1,84^2}{2} = 2618,17 \text{ Pa}$$

$\zeta_u = 0.5$ - koeficijent otpora na ulazu u cijevni snop

$$\zeta_i = 1 - \text{koeficijent otpora na izlazu iz cijevnog snopa} \quad \zeta_i = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \sim 1$$

$$\Delta p_{cs} = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w_{cs}^2}{2} = 4 \cdot (0.5 + 1) \cdot \frac{1031,1 \cdot 1,2^2}{2} = 1113,6 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed strujanja u cijevi, za izobraženo laminarno strujanje.

Za laminarno strujanje ne-Newtonovskih fluida: [4]

$$\Delta p_c = \frac{\rho \cdot w_c^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1031,1 \cdot 1,2^2 \cdot 8,3 \cdot 2 \cdot (16/522,5)}{0,016} = 47172 \text{ Pa}$$

Ukupni pad tlaka u izmjenjivaču na strani koncentrata

$$p_{iz} = \Delta p_{pr} + 2\Delta p_{cs} + \Delta p_c = 2618,17 + 2 \cdot 1113,6 + 47172 = 50903 \text{ Pa} = 0.509 \text{ bar}$$

Pad tlaka u cjevovodu do separatora

Pad tlaka uslijed cijevnih lukova

$D = 211,1$ mm – unutarnji promjer luka

$r = 510$ mm – radijus simetrane luka

$w = 1,65$ m/s – brzina koncentrata

$n = 2$ – broj cijevnih lukova

$$\frac{r}{D} = \frac{510}{211,1} = 2,42$$

iz tablica [2] slijedi $\zeta = 0,168$

$$\Delta p_p = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 2 \cdot 0,168 \cdot \frac{1031,1 \cdot 1,65^2}{2} = 472 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed strujanja u cjevovodu

$D = 211,1$ mm – unutarnji promjer

$R = 105,5$ mm – unutarnji radius

$L = 3856$ mm – duljina cjevovoda

$w = 1,65$ m/s – brzina koncentrata

$$Re = \frac{8(w)^{2-n} R^n \rho}{K[(3n+1)/n]^n} = \frac{8 \cdot (1,65)^{2-0,35} \cdot 0,1055^{0,35} \cdot 1031,065}{2,28 \cdot \left[\frac{3 \cdot 0,35 + 1}{0,35} \right]^{0,35}} = 2026$$

Za laminarno strujanje ne-Newtonovskih fluida: [4]

$$\Delta p_c = \frac{\rho \cdot w_c^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1031,1 \cdot 1,65^2 \cdot 3856 \cdot 2 \cdot (16/2026)}{211,1} = 809 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed visine

$H = 4,1$ m – visina koncentrata na tlačnoj strani

$$\Delta p_H = \rho \cdot g \cdot H = 1031,1 \cdot 9,81 \cdot 4,1 = 41472 \text{ Pa}$$

Ukupni pad tlaka na tlačnoj strani

$$\Delta p_t = p_{iz} + \Delta p_p + \Delta p_c + \Delta p_H = 50903 + 4712 + 809 + 41472 = 97896 \text{ Pa} = 0,98 \text{ bar}$$

8.1.2. Na usisnoj strani

Pad tlaka u povratnoj cijevi

$D = 211,1$ mm – unutarnji promjer

$R = 105,5$ mm – unutarnji radius

$L = 5400$ mm – duljina cjevovoda

$w = 1,65$ m/s – brzina koncentrata

$$\Delta p_c = \frac{\rho \cdot w_c^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1031,1 \cdot 1,65^2 \cdot 5400 \cdot 2 \cdot (16/2026)}{211,1} = 1134 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed cijevnih lukova

$D = 211,1$ mm – unutarnji promjer luka

$r = 2100$ mm – radijus simetrane luka

$w = 1,65$ m/s – brzina koncentrata

$n = 1$ – broj cijevnih lukova

$$\frac{r}{D} = \frac{2100}{211,1} = 9,94$$

iz tablica [2] slijedi $\zeta = 0,11$

$$\Delta p_p = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 1 \cdot 0,11 \cdot \frac{1031,1 \cdot 1,65^2}{2} = 154 \text{ Pa}$$

Tlak uslijed visine

$H = 3$ m – visina koncentrata na tlačnoj strani

$$\Delta p_H = \rho \cdot g \cdot H = 1031,1 \cdot 9,81 \cdot 3 = 30345 \text{ Pa}$$

Pad tlaka na ulazu u cijev

$\zeta_u = 0,5$ - koeficijent otpora na ulazu u priključak

$$\Delta p_{pr} = \zeta_u \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 0,5 \cdot \frac{1031,1 \cdot 1,65^2}{2} = 1404 \text{ Pa}$$

Tlak na usisnoj strani

$$p_u = \Delta p_H - \Delta p_c - \Delta p_p - \Delta p_{pr} = 30345 - 1134 - 154 - 1404 = 27653 \text{ Pa} = 0,28 \text{ bar}$$

Visina dobave pumpe

$$H_1 = \frac{\Delta p_t - p_u}{\rho \cdot g} = \frac{97896 - 27653}{1031,1 \cdot 9,81} = 6,94 \text{ m}$$

Volumni protok:

$$Q = \frac{(qm_u + qm_{R1})}{\rho} = \frac{(3857,143 + 210320,26)}{1031 \cdot 3600} = 0,058 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Teoretska snaga pumpe:

$$P_P = \frac{Q \cdot (\Delta p_t - p_u)}{\eta} = \frac{0,058 \cdot (97896 - 27653)}{0,9} = 4,53 \text{ kW}$$

8.2. Drugog stupnja

8.2.1. Na tlačnoj strani

Pad tlaka u izmjenjivaču topline

- pad tlaka u koncentrata sastoji se od:

$$\Delta p_{sek} = \Delta p_{pr} + \Delta p_{cs} + \Delta p_c$$

Δp_{pr} - pad tlaka u priključcima

Δp_{cs} - pad tlaka na ulazu i izlazu iz cijevno snopa (uključujući broj prolaza)

Δp_c - pad tlaka uslijed strujanja kroz cijevi

Pad tlaka u priključcima

$\zeta_u = 0.5$ - koeficijent otpora na ulazu u priključak

$\zeta_i = 1$ - koeficijent otpora na izlazu iz priključka

$$\Delta p_{pr} = (\zeta_u + \zeta_i) \cdot \frac{\rho \cdot w_{pr}^2}{2} = (0.5 + 1) \cdot \frac{1134 \cdot 1,35^2}{2} = 2879 \text{ Pa}$$

$\zeta_u = 0.5$ - koeficijent otpora na ulazu u cijevni snop

$\zeta_i = 1$ - koeficijent otpora na izlazu iz cijevnog snopa $\zeta_i = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \sim 1$

$$\Delta p_{cs} = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w_{cs}^2}{2} = 4 \cdot (0.5 + 1) \cdot \frac{1134 \cdot 0,98^2}{2} = 817 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed strujanja u cijevi, za laminarno strujanje.

$$\Delta p_c = \frac{\rho \cdot w_c^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1134,72 \cdot 0,98^2 \cdot 8,3 \cdot 2 \cdot (16/37,82)}{0,016} = 478330 \text{ Pa}$$

Ukupni pad tlaka u izmjenjivaču na strani koncentrata

$$p_{iz} = \Delta p_{pr} + 2\Delta p_{cs} + \Delta p_c = 2879 + 2 \cdot 817 + 478330 = 482843 \text{ Pa} = 4,8 \text{ bar}$$

Pad tlaka u cjevovodu do separatora

Pad tlaka uslijed cijevnih lukova

$D = 211,1$ mm – unutarnji promjer luka

$r = 510$ mm – radijus simetrane luka

$w = 0,98$ m/s – brzina koncentrata

$n = 2$ – broj cijevnih lukova

$$\frac{r}{D} = \frac{510}{211,1} = 2,42$$

iz tablica [2] slijedi $\zeta = 0,168$

$$\Delta p_p = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 2 \cdot 0,168 \cdot \frac{1134,72 \cdot 1,35^2}{2} = 347 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed strujanja u cjevovodu

$D = 211,1$ mm – unutarnji promjer

$R = 105,5$ mm – unutarnji radijus

$L = 3856$ mm – duljina cjevovoda

$w = 1,35$ m/s – brzina koncentrata

$$Re = \frac{8(w)^{2-n} R^n \rho}{K[(3n+1)/n]^n} = \frac{8 \cdot (1,35)^{2-0,42} \cdot 0,1055^{0,42} \cdot 1031,36}{15,1 \cdot \left[\frac{3 \cdot 0,42 + 1}{0,42} \right]^{0,42}} = 168$$

Za laminarno strujanje ne-Newtonovskih fluida: [4]

$$\Delta p_c = \frac{\rho \cdot w^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1134,72 \cdot 1,35^2 \cdot 3856 \cdot 2 \cdot (16/168)}{211,1} = 7195 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed visine

$H = 4,1$ m – visina koncentrata na tlačnoj strani

$$\Delta p_H = \rho \cdot g \cdot H = 1134,72 \cdot 9,81 \cdot 4,1 = 45639 \text{ Pa}$$

Ukupni pad tlaka na tlačnoj strani

$$\Delta p_t = p_{iz} + \Delta p_p + \Delta p_c + \Delta p_H = 482843 + 347 + 7195 + 45639 = 536024 \text{ Pa} \\ = 5,3 \text{ bar}$$

8.2.2. Na usisnoj strani

Pad tlaka u povratnoj cijevi

$D = 211,1$ mm – unutarnji promjer

$R = 105,5$ mm – unutarnji radius

$L = 5400$ mm – duljina cjevovoda

$w = 1,65$ m/s – brzina koncentrata

$$\Delta p_c = \frac{\rho \cdot w_c^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1134,72 \cdot 1,35^2 \cdot 5400 \cdot 2 \cdot (16/168)}{211,1} = 10076 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed cijevnih lukova

$D = 211,1$ mm – unutarnji promjer luka

$r = 500$ mm – radijus simetrale luka

$w = 1,65$ m/s – brzina koncentrata

$n = 1$ – broj cijevnih lukova

$$\frac{r}{D} = \frac{2100}{211,1} = 2,37$$

iz tablica Kraut [2] slijedi $\zeta = 0,11$

$$\Delta p_p = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 1 \cdot 0,11 \cdot \frac{1134,72 \cdot 1,35^2}{2} = 114 \text{ Pa}$$

Tlak uslijed visine

$H = 3$ m – visina koncentrata na tlačnoj strani

$$\Delta p_H = \rho \cdot g \cdot H = 1134,72 \cdot 9,81 \cdot 3 = 33395 \text{ Pa}$$

Pad tlaka na ulazu u cijev

$\zeta_u = 0,5$ - koeficijent otpora na ulazu u priključak

$$\Delta p_{pr} = \zeta_u \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 0,5 \cdot \frac{1134,72 \cdot 1,35^2}{2} = 517 \text{ Pa}$$

Tlaka na usisnoj strani

$$p_u = \Delta p_H - \Delta p_c - \Delta p_p - \Delta p_{pr} = 33395 - 10076 - 114 - 517 = 22688 \text{ Pa} = 0,23 \text{ bar}$$

Visina dobave pumpe

$$H_2 = \frac{\Delta p_t - p_u}{\rho \cdot g} = \frac{536024 - 22688}{1134,72 \cdot 9,81} = 46,12 \text{ m}$$

Volumni protok:

$$Q = \frac{(qm_x + qm_{R2})}{\rho} = \frac{(2378,57 + 190196)}{1135 \cdot 3600} = 0,047 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Teoretska snaga pumpe:

$$P_P = \frac{Q \cdot (\Delta p_t - p_u)}{\eta} = \frac{0,047 \cdot (536024 - 22688)}{0,9} = 26,8 \text{ kW}$$

Odabrane pumpe za oba stupnja su proizvođača Bornemann, vijčane pumpe serije SLH-4G namijenjene kemijskoj i prehrambenoj industriji.

9. ZAKLJUČAK

Rješavanje problema konstrukcije uređaja koji će služiti za proizvodnju ciljane količine traženog proizvoda određenih svojstava na temelju osnovnih ulaznih parametara sirovine zahtjeva razmišljanje o zadanom problemu u okvirima široke slike. Potrebno je dobro razmisliti i procijeniti koji tip uređaja i izvedba najbolje odgovaraju postavljenim zahtjevima.

Osnovna analiza energetske potrošnje predstavlja početak razmišljanja o načinu provedbe procesa. Ovaj rad pokazao je dio takve analize u kojoj se razmatrala potrošnja pogonske energije u odnosu na izvedbu uparivačkih uređaja. Odabirom više stupnjeva uparivanja dolazi se do znatno manje potrošnje pogonske energije ali također investicijski troškovi rastu u znatnoj mjeri. Isplativost višestupanjskih pogona s tri ili četiri stupnja opravdava se u slučajevima kada se radi o velikim količinama ulazne sirovine time i dobivene količine proizvoda koji opravdava velike investicije i uštedu na dugoročnom planu kada se po dobivenom proizvodu troši znatno manje energije.

Zahtjev na jednakost uparivačkih jedinica u svim stupnjevima predstavlja manje investicijsko ulaganje. Također izvedba cijelog procesa postaje kompliciranija zbog velikih nejednakosti u svojstvima sirovine koji se mijenjaju od stupnja do stupnja i veoma utječu na vođenje procesa. Postavljanjem svih bilanci, modela prijenosa topline, konstrukcijskih rješenja i veličina može se krenuti s početnim pokušajima pronalaska sustava koji će dati jednake uparivačke jedinice. Metodom pokušaja biranja pojedinih parametara poput tlaka uparivanja, veličine i broja cijevi, temperature zagrijavanja, odabira ogrjevnog medija dolazi se do zadovoljavanja zahtjeva i najboljeg mogućeg načina vođenja procesa.

LITERATURA

- [1] Andrassy, M.; Toplinske operacije, FSB Zagreb, 2013.
- [2] KRAUTOV STROJARSKI PRIRUČNIK, Sajema d.o.o., Zagreb, 2009.
- [3] M. A. Rao, Syed S. H. Rizvi, Ashim K. Datta; Engineering Properties of Foods Third Edition, Sjedinjene Američke Države, 2005.
- [4] Romeo T. Toledo; Fundamentals of Food Process Engineering Third Edition, University of Georgia Sjedinjene Američke Države, 2007.
- [5] Sadik Kakac; Boilers Evaporators & Condensers, New York, 1991.
- [6] Kenneth J. Valentas, Enrique Rotstein, R. Paul Singh; Handbook of Food Engineering Practice, New York, 1997.
- [7] A.E. Drusas, G.D. Saravacosf; Thermal Conductivity of Tomato Paste, Journal of Food Engineering, 1985.
- [8] VDI Heat Atlas Second Edition, 2006.

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija


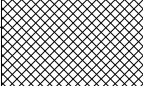
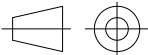
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

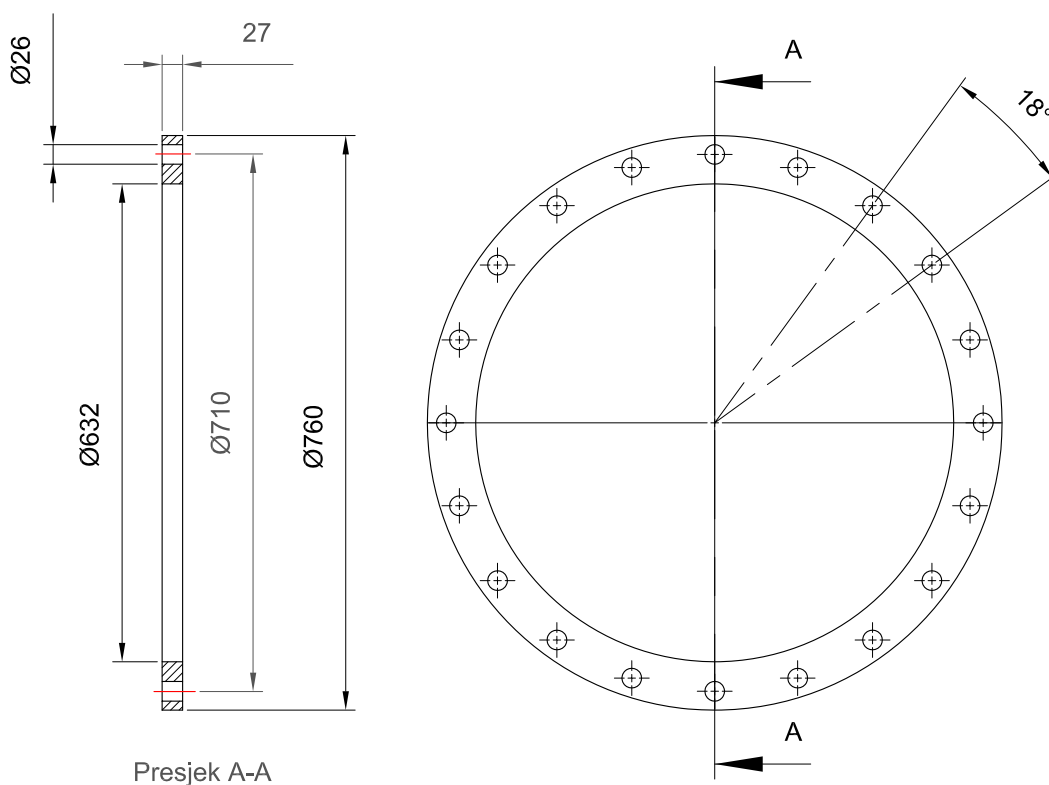
PRILOG NACRTI


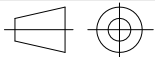
Ivan Stjepić

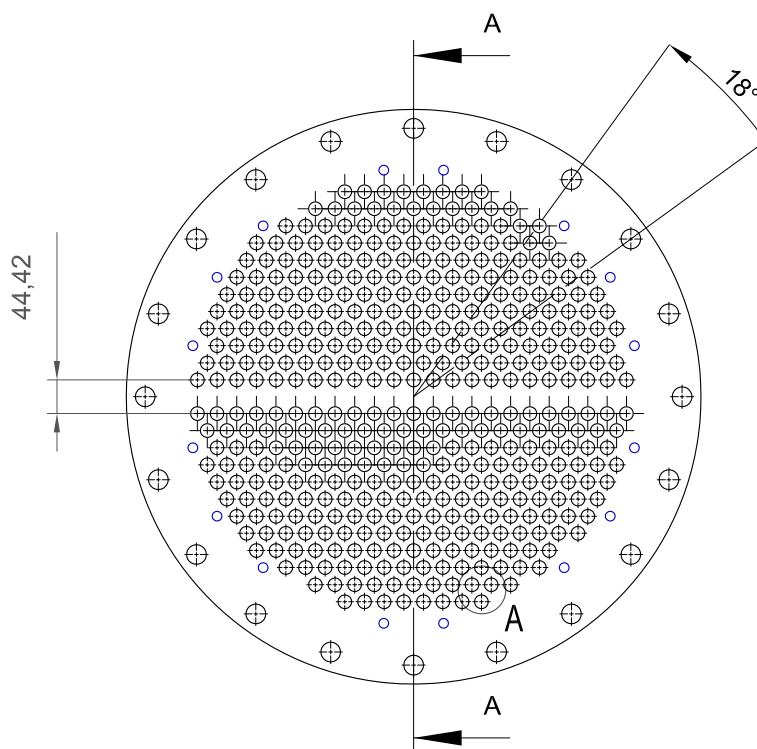
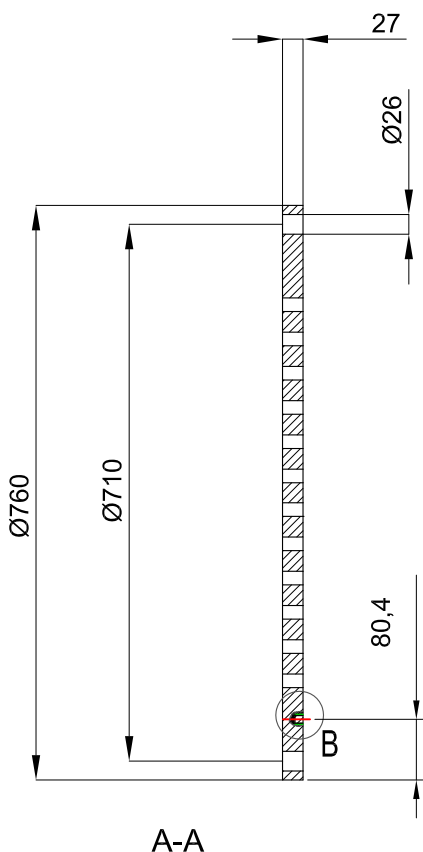
Zagreb, 2015.



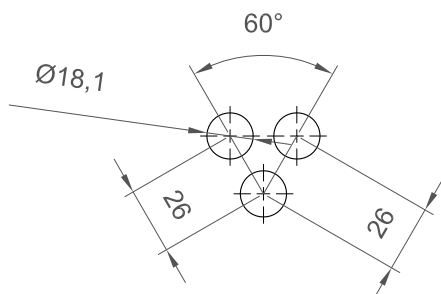
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	<i>11/2015</i>	<i>Ivan Stjepić</i>		
<i>Razradio</i>	<i>11/2015</i>	<i>Ivan Stjepić</i>		
<i>Crtao</i>	<i>11/2015</i>	<i>Ivan Stjepić</i>		
<i>Pregledao</i>		<i>Prof. dr.sc. D. Dović</i>		
<i>Objekt:</i> IZMJENJIVAČ TOPLINE			<i>Objekt broj:</i> <i>R. N. broj:</i>	
<i>Napomena:</i>				<i>Kopija</i> 
<i>Materijal:</i> <i>W.Nr. 1.4301</i>		<i>Masa:</i> -		
 <i>Mjerilo originala</i> M1:10	<i>Naziv:</i> PLAŠT		<i>Pozicija:</i> 1	<i>Format: A4</i> <i>Listova:</i> <i>List:</i>
<i>Crtež broj:</i> <i>IS-01-2015</i>				



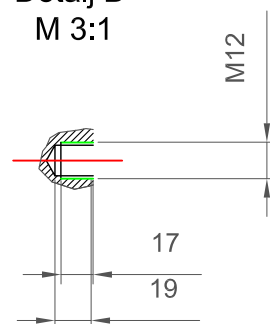
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i>			<i>Objekt broj:</i>	
IZMJENJIVAČ TOPLINE			R. N. broj:	
<i>Napomena:</i>			<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 40px; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></div>	
<i>Materijal:</i> W.Nr. 1.4301		<i>Masa:</i> -		
 Mjerilo originala M1:10	<i>Naziv:</i>		<i>Pozicija:</i>	<i>Format:</i> A4
	Prirubnica izmjenjivača		18	<i>Listova:</i>
	<i>Crtež broj:</i> IS-02-2015		<i>List:</i>	





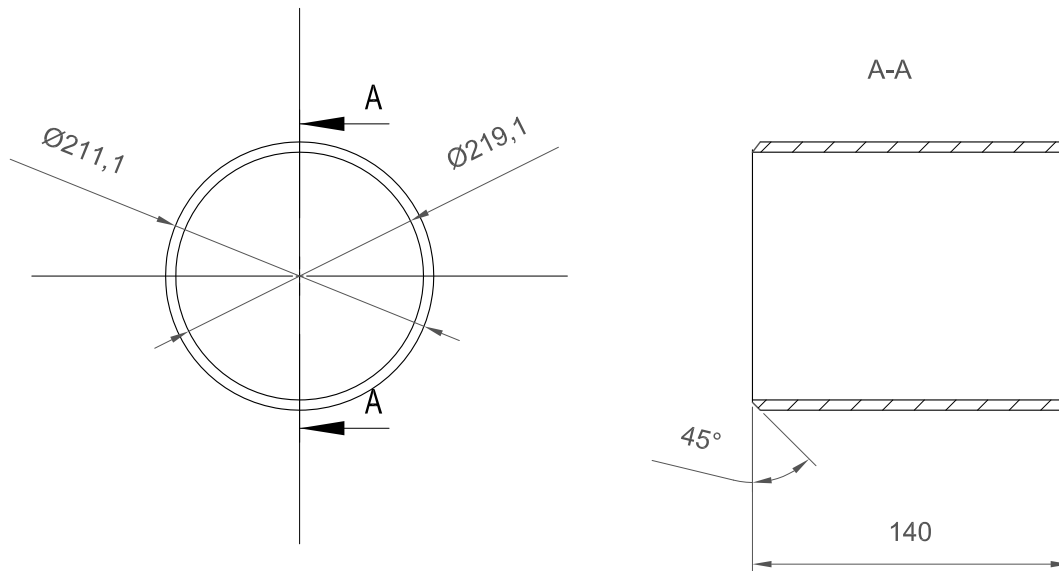
Detalj A
M 7:1



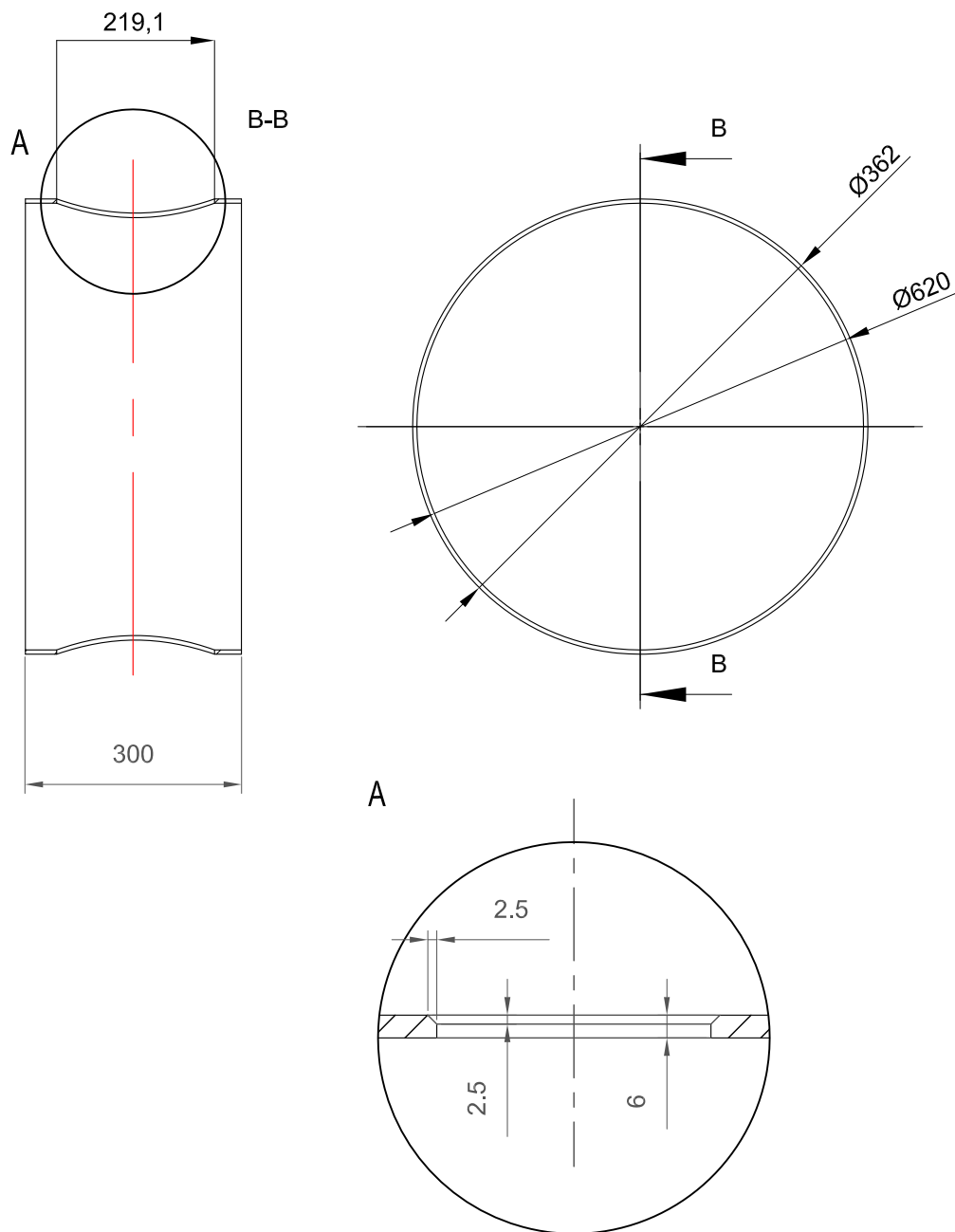
Detalj B
M 3:1


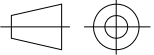


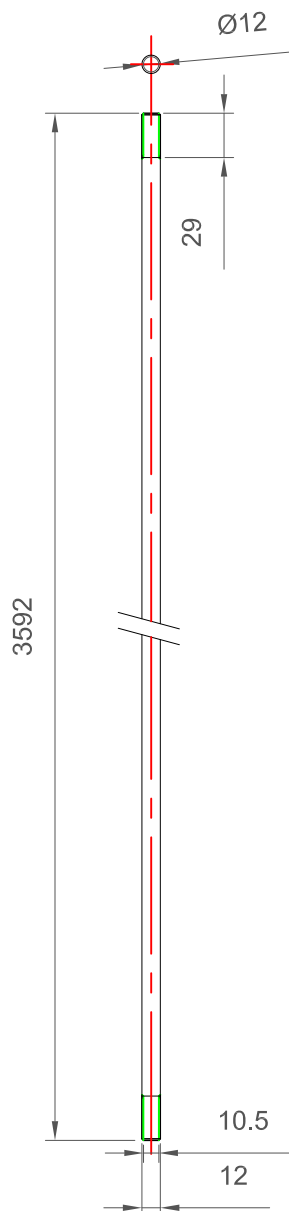
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		
Objekt:			Objekt broj:	
IZMJENJIVAČ TOPLINE			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: W.Nr. 1.4301		Masa: -		
 Mjerilo originala M1:10	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
	Cijevna stijenka		4	Listova:
	Crtež broj: IS-03-2015			List:


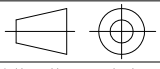


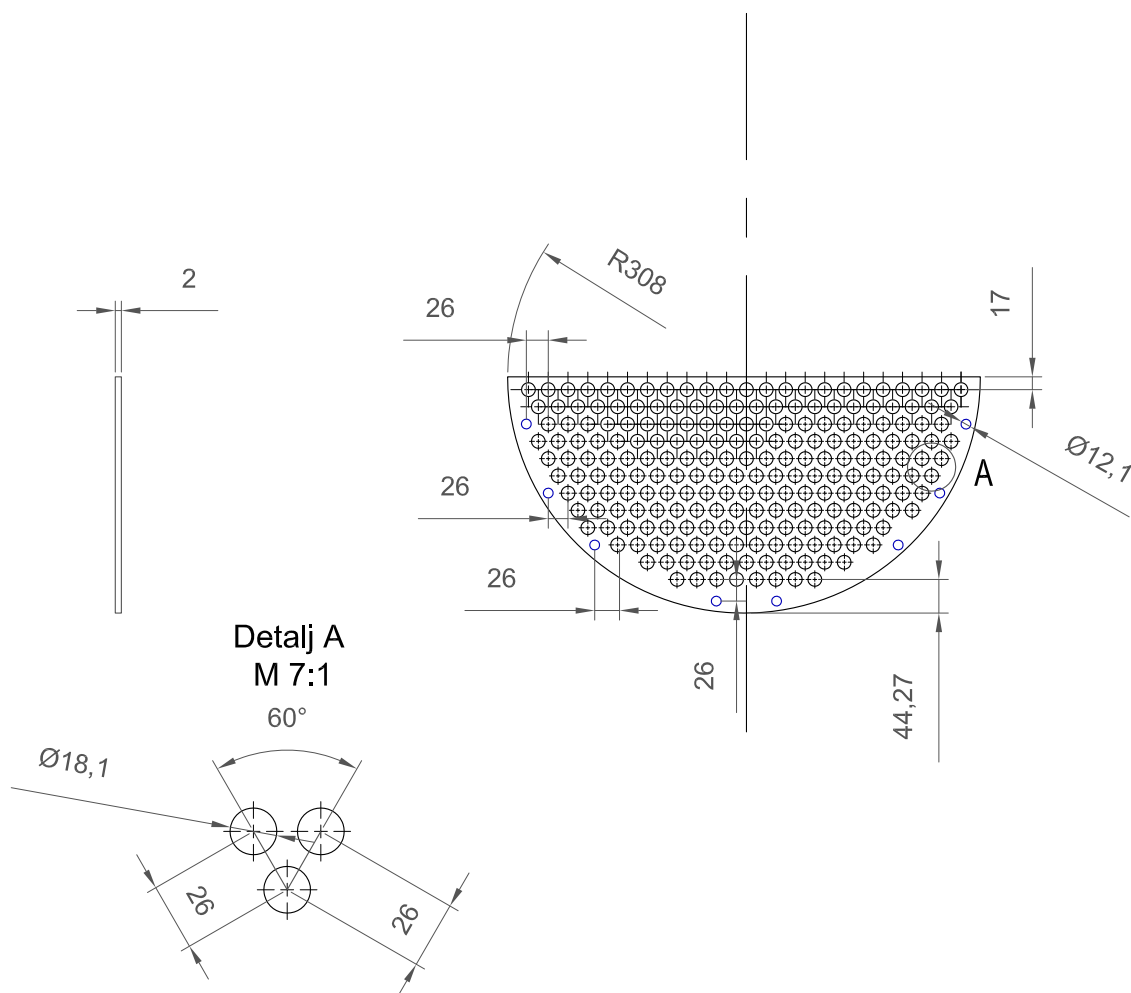
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i>		IZMJENJIVAČ TOPLINE		<i>Objekt broj:</i>
				<i>R. N. broj:</i>
<i>Napomena:</i>				<i>Kopija</i>
<i>Materijal:</i>	W.Nr. 1.4301	<i>Masa:</i>	-	
 <i>Mjerilo originala</i> M1:5	<i>Naziv:</i> Cijevni priključak			<i>Pozicija:</i> 5
				<i>Format:</i> A4
				<i>Listova:</i>
<i>Crtež broj:</i> IS-04-2013				<i>List:</i>


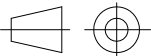


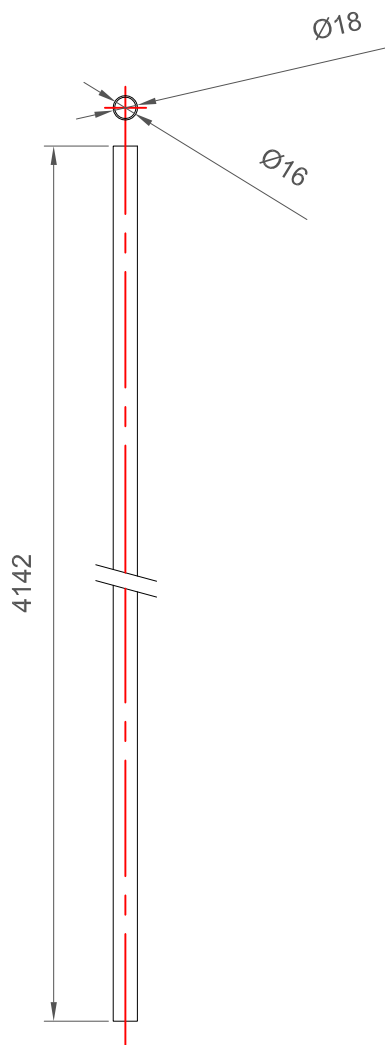
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i>		IZMJENJIVAČ TOPLINE		<i>Objekt broj:</i>
				<i>R. N. broj:</i>
<i>Napomena:</i>				<i>Kopija</i>
<i>Materijal:</i> W.Nr. 1.4301		<i>Masa:</i> -		
 <i>Mjerilo originala</i> M1:10	<i>Naziv:</i>			<i>Pozicija:</i>
	Cilindar za prirubnicu			19
	<i>Crtež broj:</i> IS-05-2015			<i>List:</i>
				<i>Format:</i> A4
				<i>Listova:</i>


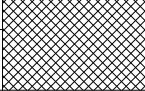
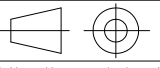


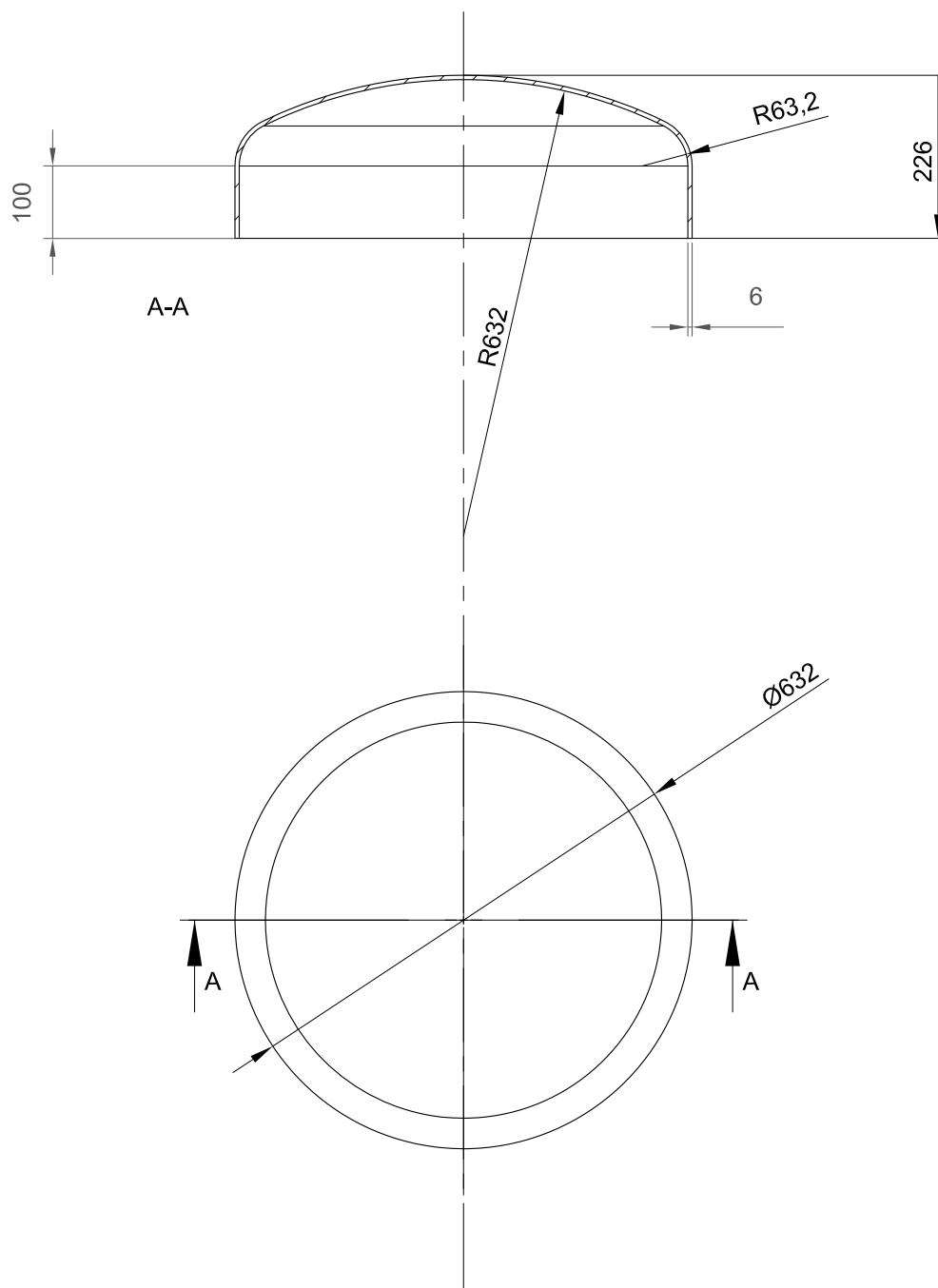
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i> IZMJENJIVAČ TOPLINE			<i>Objekt broj:</i>	
			<i>R. N. broj:</i>	
<i>Napomena:</i>			<i>Kopija</i>	
<i>Materijal:</i> W.Nr. 1.4301		<i>Masa:</i> -		
 <i>Mjerilo originala</i> M1:5	<i>Naziv:</i> Držać pregrada-duži		<i>Pozicija:</i> 13	<i>Format:</i> A4
				<i>Listova:</i>
	<i>Crtež broj:</i> IS-06-2015			<i>List:</i>


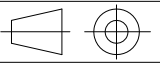


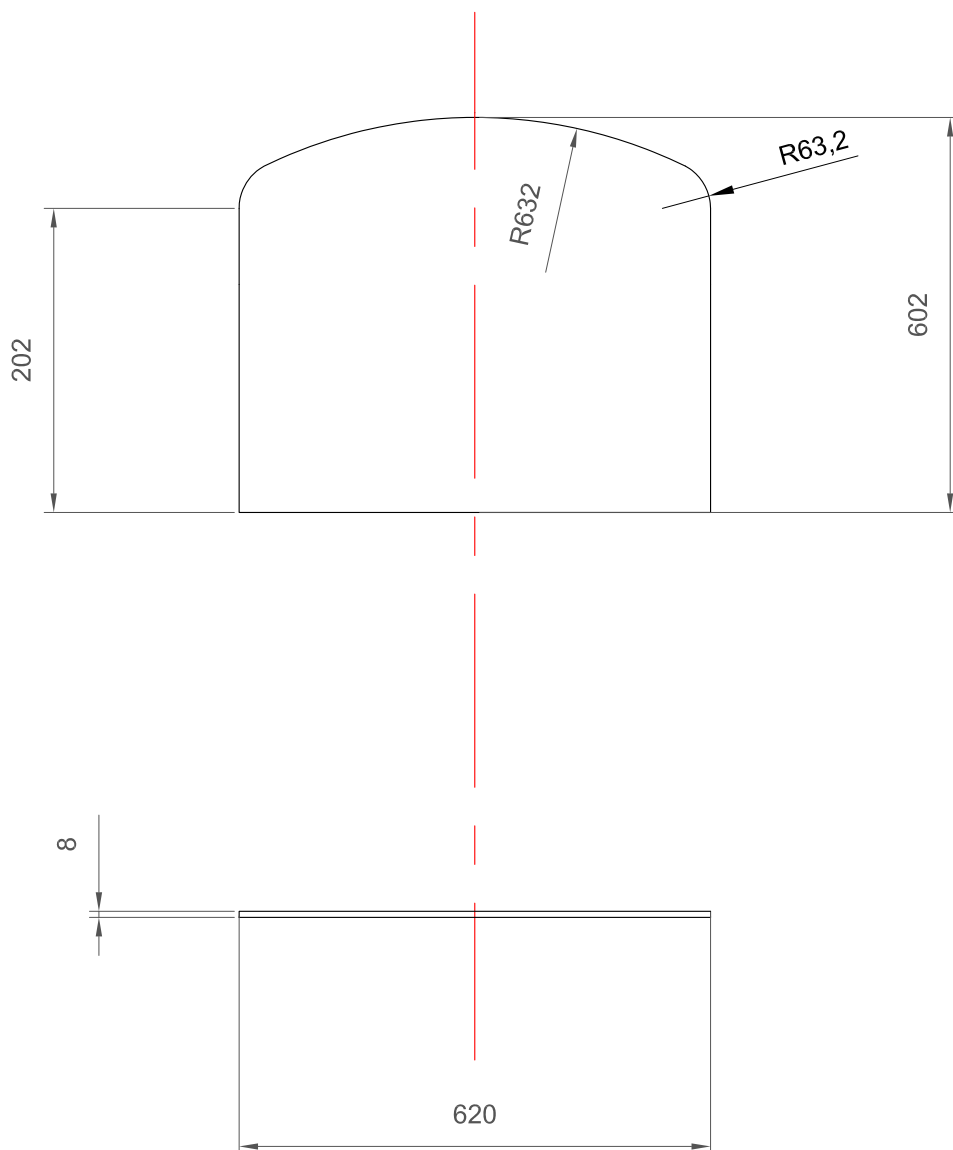
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić			
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić			
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić			
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović			
Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE			Objekt broj:		
Napomena:			R. N. broj:		
Materijal: W.Nr. 1.4301			Masa: -		Kopija
			Naziv:		Pozicija:
Mjerilo originala			Pregrada u plaštu-gornja		Format: A4
M1:10			Crtež broj: IS-07-2015		Listova:
					List:


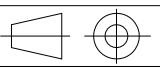


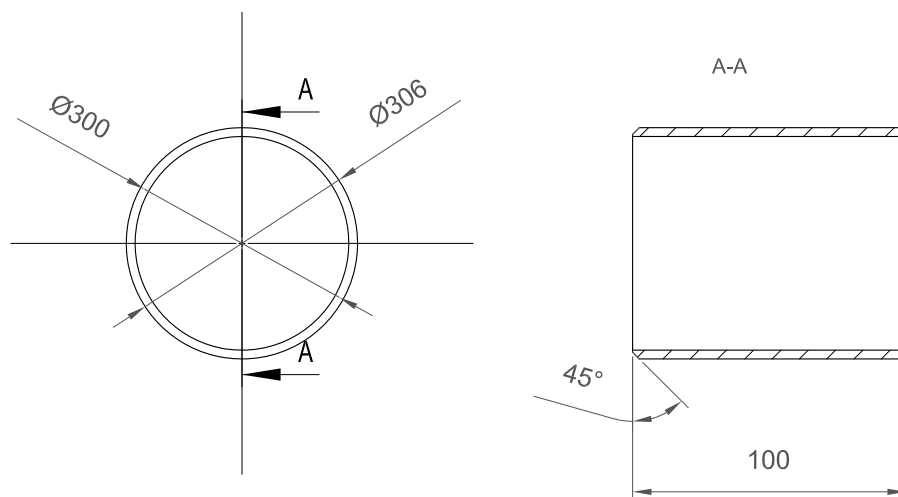
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i> IZMJENJIVAČ TOPLINE		<i>Objekt broj:</i>		
<i>Napomena:</i>		<i>R. N. broj:</i>		
<i>Materijal:</i> W.Nr. 1.4301		<i>Masa:</i> -	 <i>Kopija</i>	
 <i>Mjerilo originala</i> M1:5		<i>Naziv:</i> Inox cijev		
		<i>Pozicija:</i> 11		<i>Format:</i> A4
		<i>Crtež broj:</i> IS-8-2015		<i>Listova:</i>
				<i>List:</i>


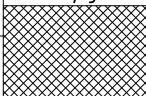
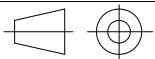


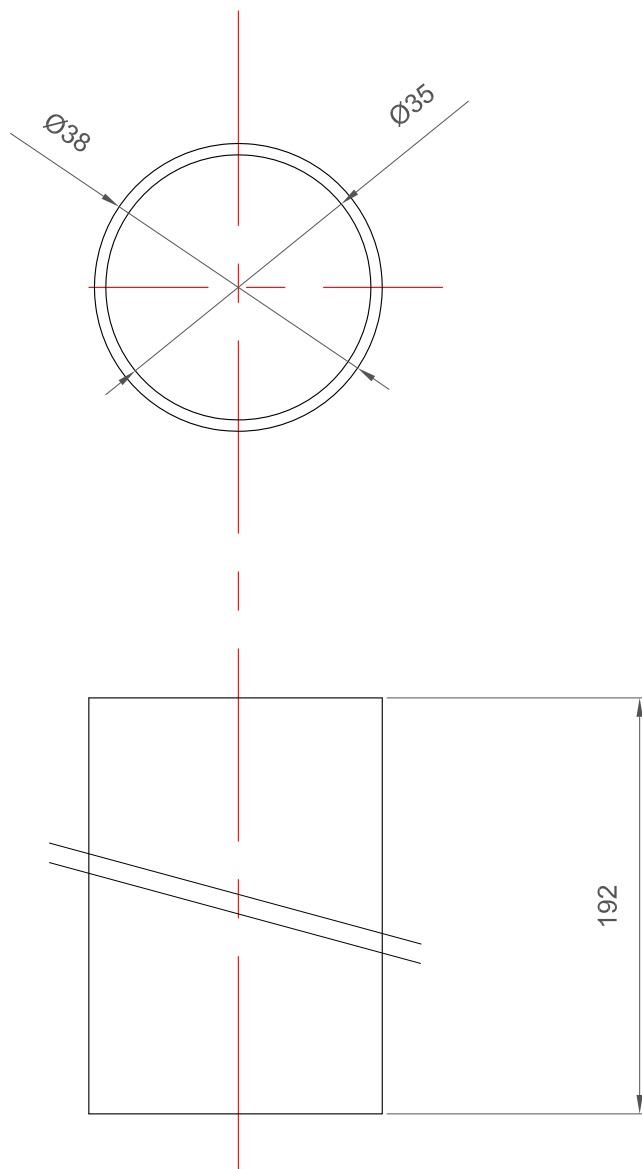
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i>		IZMJENJIVAČ TOPLINE		<i>Objekt broj:</i>
<i>Napomena:</i>				<i>R. N. broj:</i>
<i>Materijal:</i> W.Nr. 1.4301		<i>Masa:</i> -		<i>Kopija</i>
 <i>Mjerilo originala</i> M1:10		<i>Naziv:</i> Podnica		<i>Pozicija:</i> 2
		<i>Crtež broj:</i> IS-9-2015		<i>Format:</i> A4
				<i>Listova:</i>
				<i>List:</i>

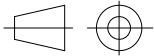


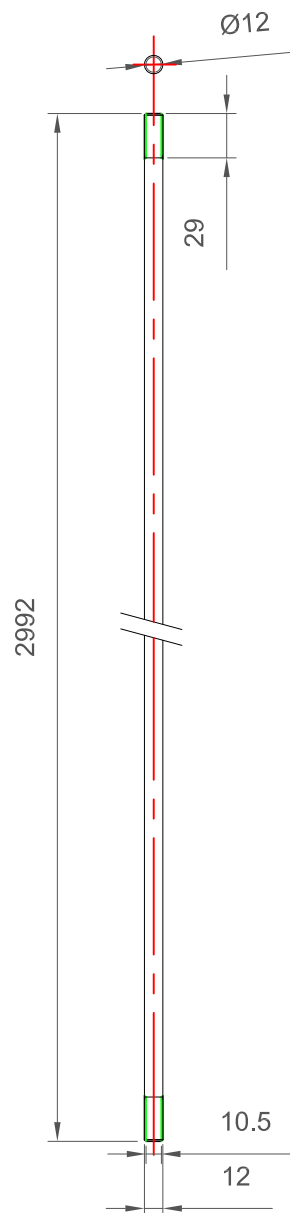
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i>		<i>Objekt broj:</i>		
IZMJENJIVAČ TOPLINE		<i>R. N. broj:</i>		
<i>Napomena:</i>				<i>Kopija</i>
<i>Materijal:</i> W.Nr. 1.4301		<i>Masa:</i> -		
	<i>Naziv:</i>		<i>Pozicija:</i>	<i>Format: A4</i>
<i>Mjerilo originala</i>	Pregrada		16	<i>Listova:</i>
M1:10	<i>Crtež broj:</i> IS-10-2015			<i>List:</i>


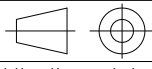


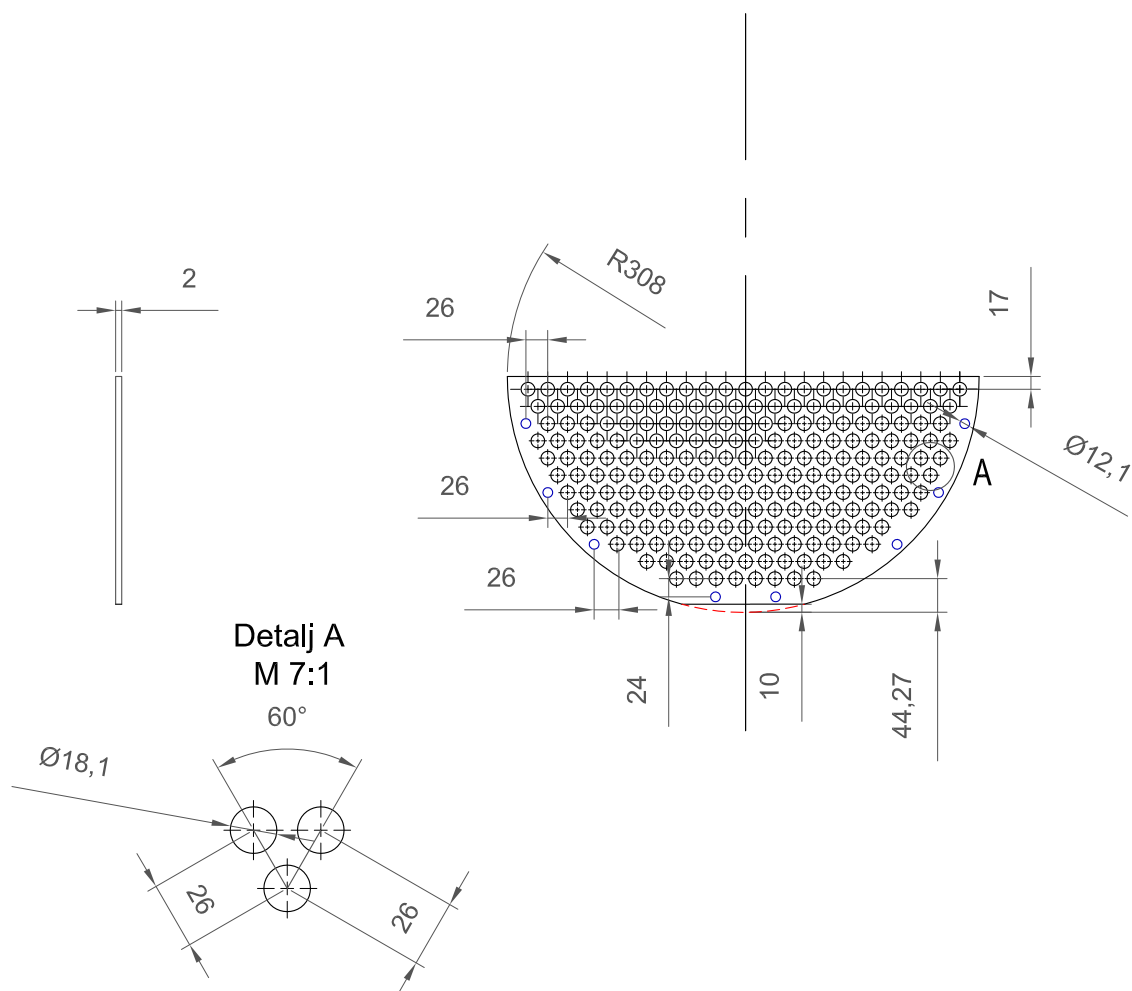
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i>		IZMJENJIVAČ TOPLINE		<i>Objekt broj:</i> <i>R. N. broj:</i>
<i>Napomena:</i>				<i>Kopija</i> 
<i>Materijal:</i>	W.Nr. 1.4301	<i>Masa:</i>	-	
 <i>Mjerilo originala</i> M1:10	<i>Naziv:</i> Priključak ulaska pare		<i>Pozicija:</i> 17	<i>Format:</i> A4 <i>Listova:</i> <i>List:</i>
			<i>Crtež broj:</i> IS-11-2015	




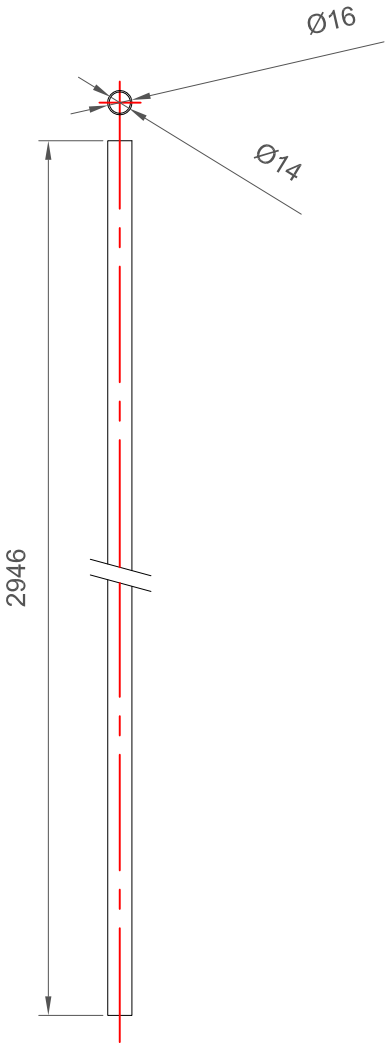
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		
Objekt:		IZMJENJIVAČ TOPLINE		Objekt broj:
				R. N. broj:
Napomena:				Kopija
Materijal: W.Nr. 1.4301		Masa: -		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala	Priključak kondenzata		15	Listova:
M1:1	Crtež broj: IS-12-2015			List:


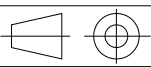


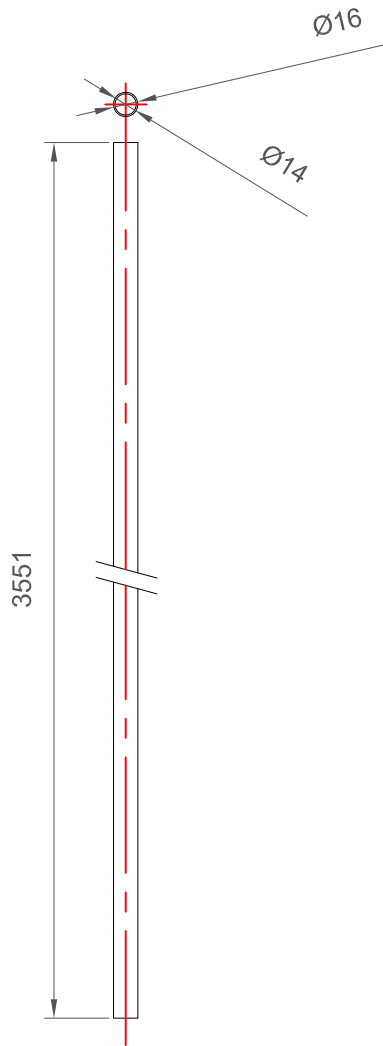
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i>		<i>Objekt broj:</i>		
IZMJENJIVAČ TOPLINE		<i>R. N. broj:</i>		
<i>Napomena:</i>				<i>Kopija</i>
<i>Materijal:</i> W.Nr. 1.4301		<i>Masa:</i> -		
 <i>Mjerilo originala</i> M1:5	<i>Naziv:</i>		<i>Pozicija:</i>	<i>Format:</i> A4
	Držać pregrada-kraći			<i>Listova:</i>
	<i>Crtež broj:</i> IS-13-2015			<i>List:</i>


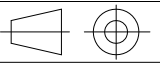


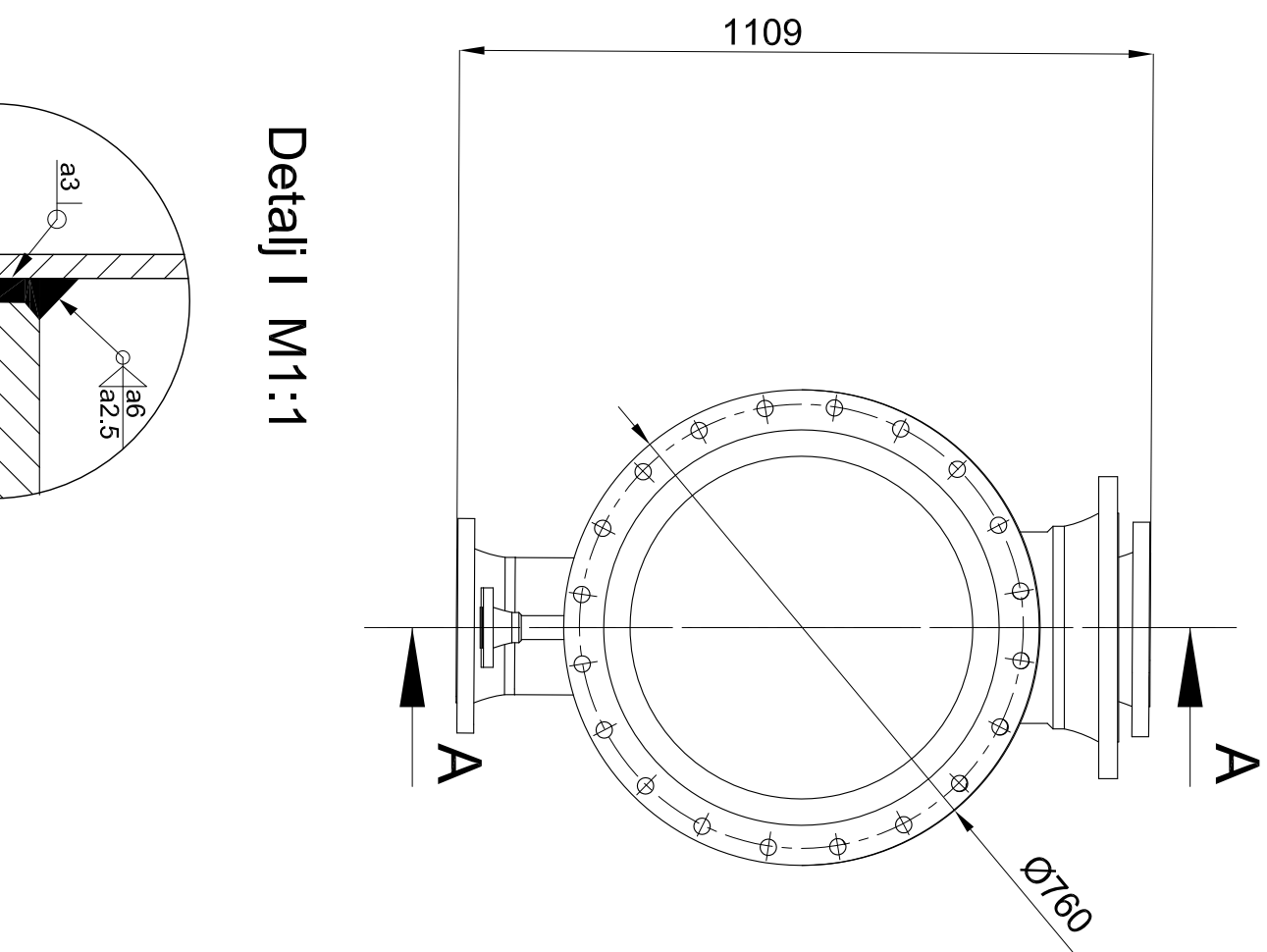
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i> IZMJENJIVAČ TOPLINE			<i>Objekt broj:</i>	
<i>Napomena:</i>			<i>R. N. broj:</i>	
<i>Materijal:</i> W.Nr. 1.4301			<i>Masa:</i> -	<i>Kopija</i>
<i>Naziv:</i> Pregrada u plaštu- donja			<i>Pozicija:</i> 23	<i>Format:</i> A4
<i>Mjerilo originala</i> M1:10			<i>Crtež broj:</i> IS-14-2015	<i>Listova:</i>
				<i>List:</i>



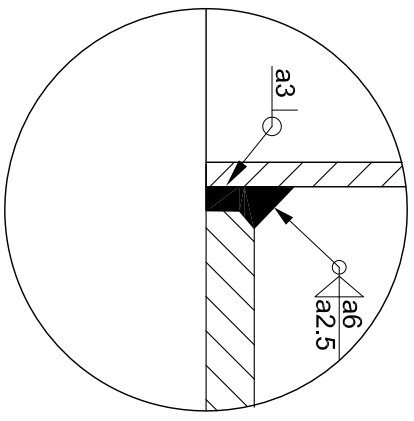
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić			
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić			
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić			
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović			
Objekt:			Objekt broj:		
IZMJENJIVAČ TOPLINE			R. N. broj:		
Napomena:			<div>Kopija</div> <div></div>		
Materijal: W.Nr. 1.4.301 Masa: -					
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4	
Mjerilo originala	Inox cijev - držač kraći		21	Listova:	
M1:5	Crtež broj: IS-15-2015			List:	



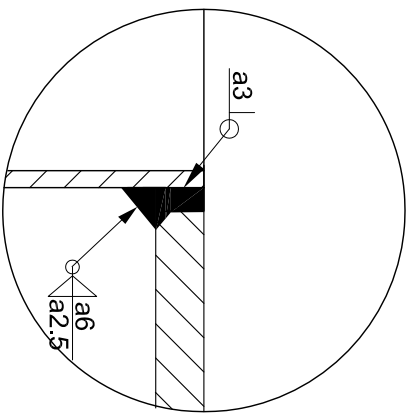
	<i>Datum</i>	<i>Ime i prezime</i>	<i>Potpis</i>	 FSB Zagreb
<i>Projektirao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Razradio</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Crtao</i>	11/2015	Ivan Stjepić		
<i>Pregledao</i>		Prof. dr.sc. D. Dović		
<i>Objekt:</i>		<i>Objekt broj:</i>		
IZMJENJIVAČ TOPLINE		<i>R. N. broj:</i>		
<i>Napomena:</i>				<i>Kopija</i>
<i>Materijal:</i>	W.Nr. 1.4301	<i>Masa:</i>	-	
 <i>Mjerilo originala</i> M1:5	<i>Naziv:</i> Inox cijev-držač duži		<i>Pozicija:</i> 22	<i>Format:</i> A4 <i>Listova:</i> <i>List:</i>
			<i>Crtež broj:</i>	IS-16-2015



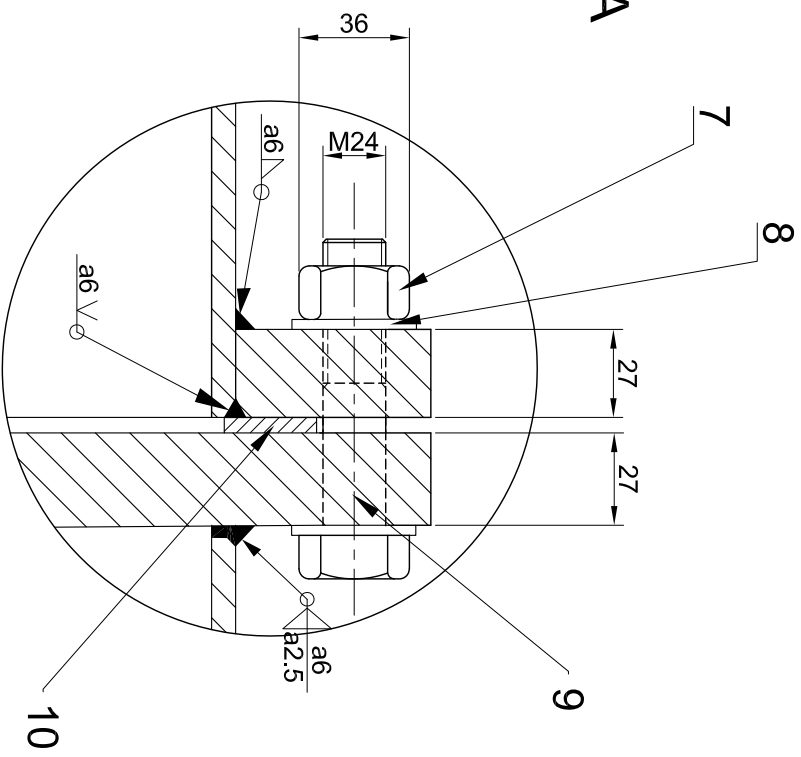
Detalj I M1:1



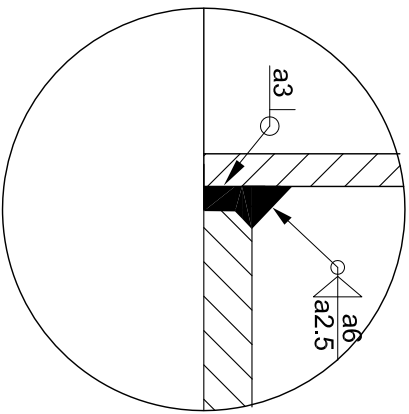
Detalj J M1:1



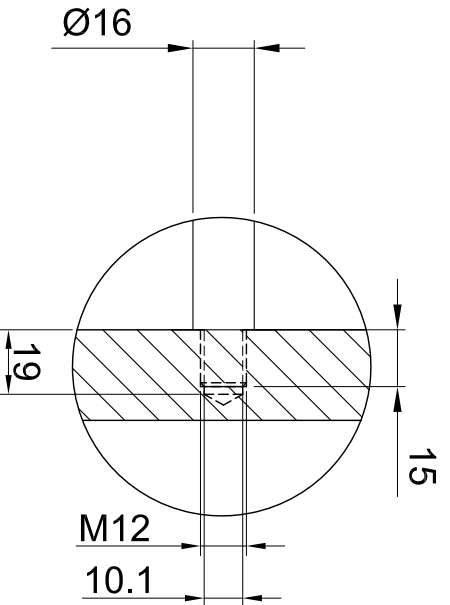
Detalj A
M1:2



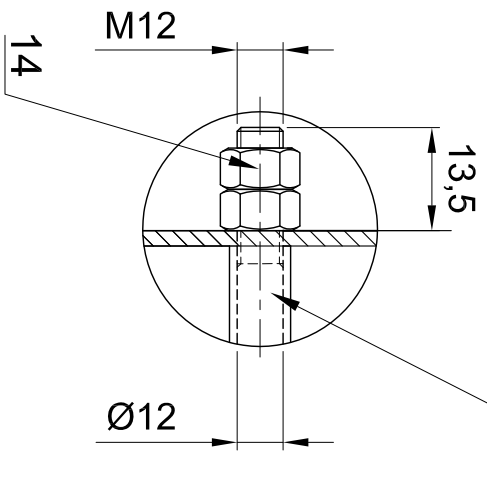
Detalj B M1:1



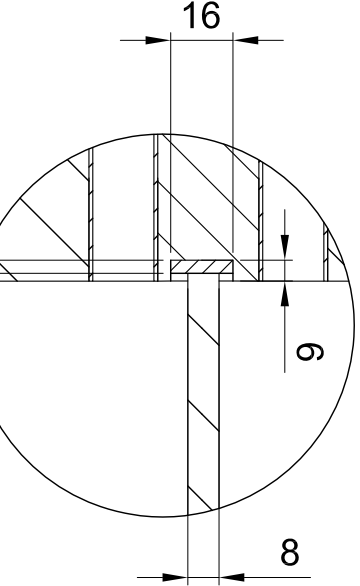
Detalj C
M1:2



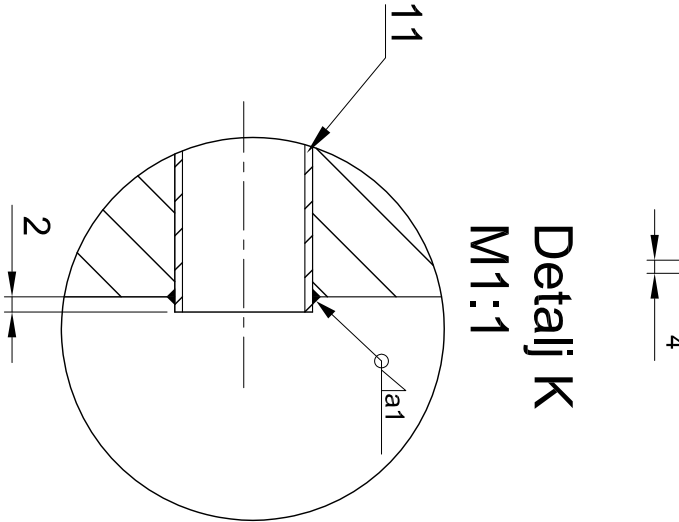
Detalj D
M1:2



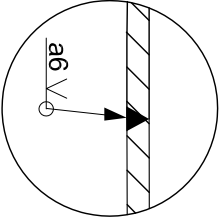
Detalj E
M1:2



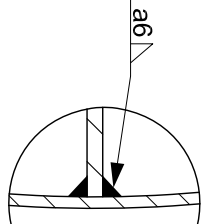
Detalj K
M1:1



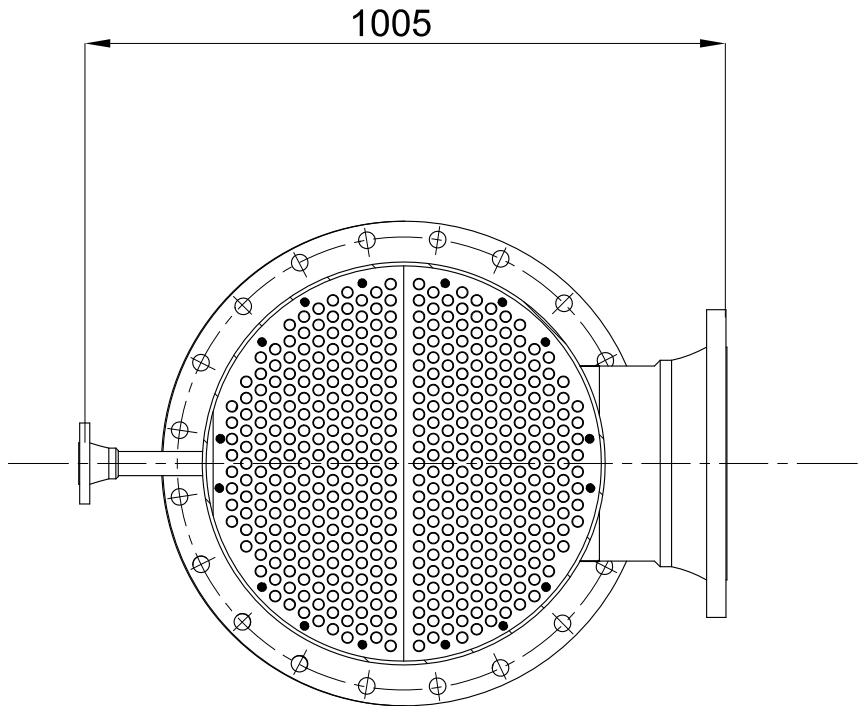
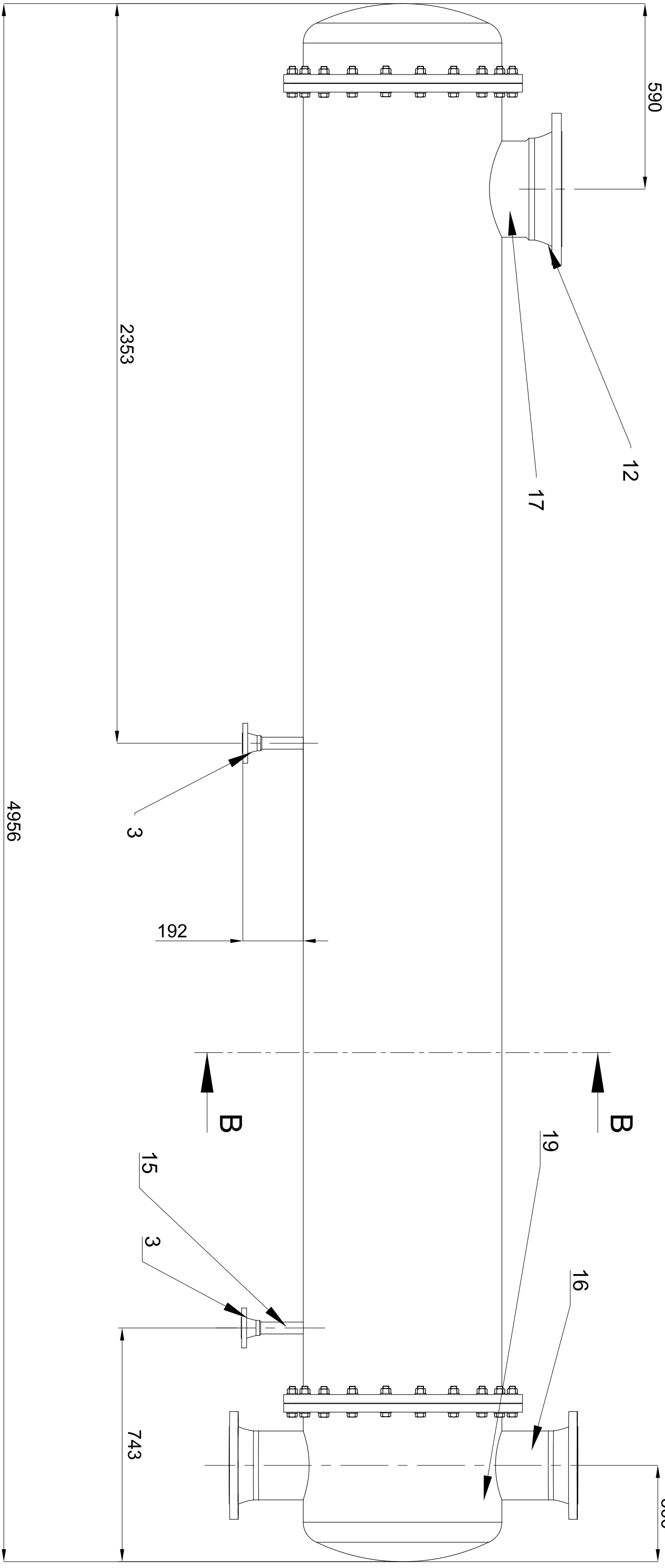
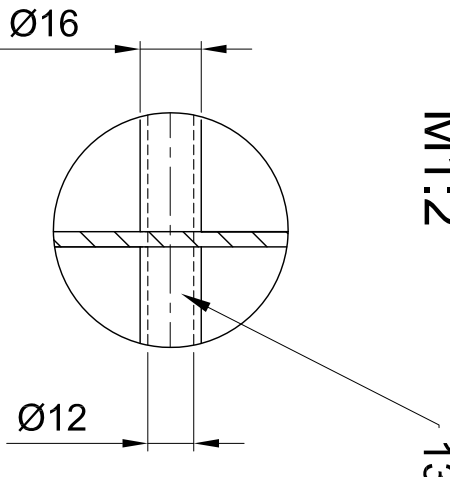
Detalj F
M1:1



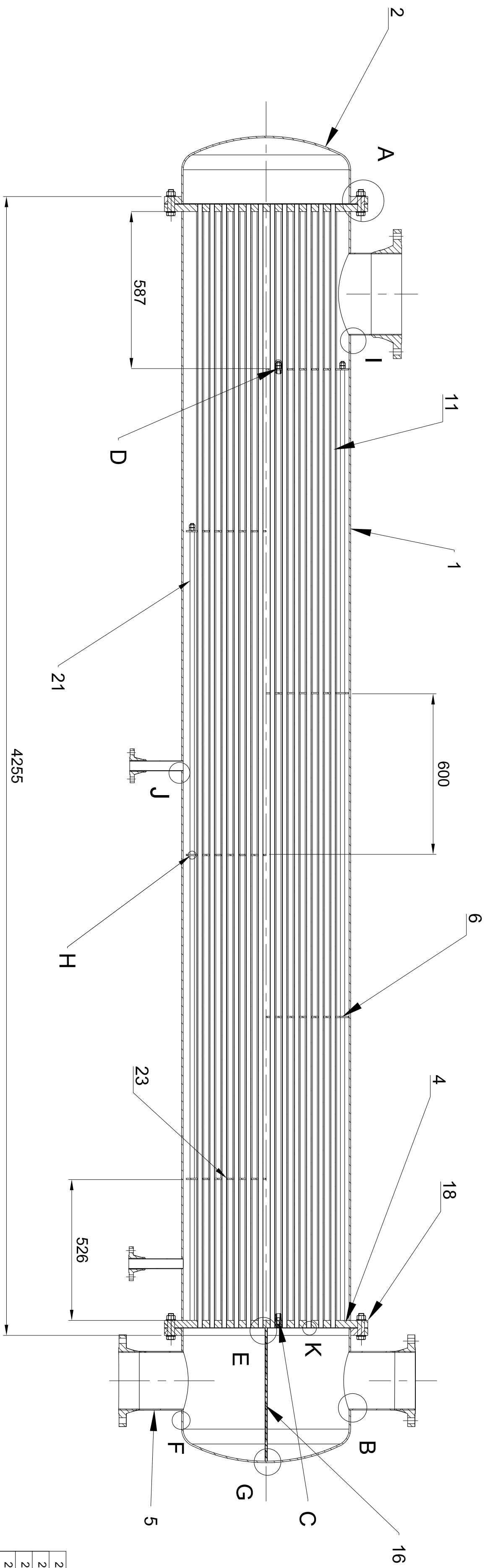
Detalj G
M1:2



Detalj H
M1:2



Napomena:
Sve zavare pobrusiti i polirati



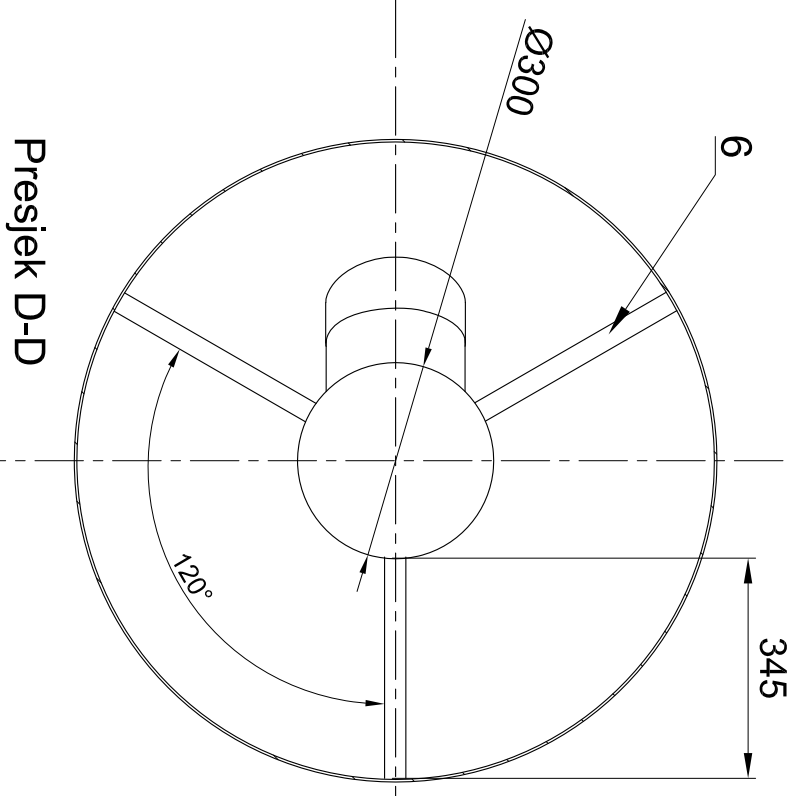
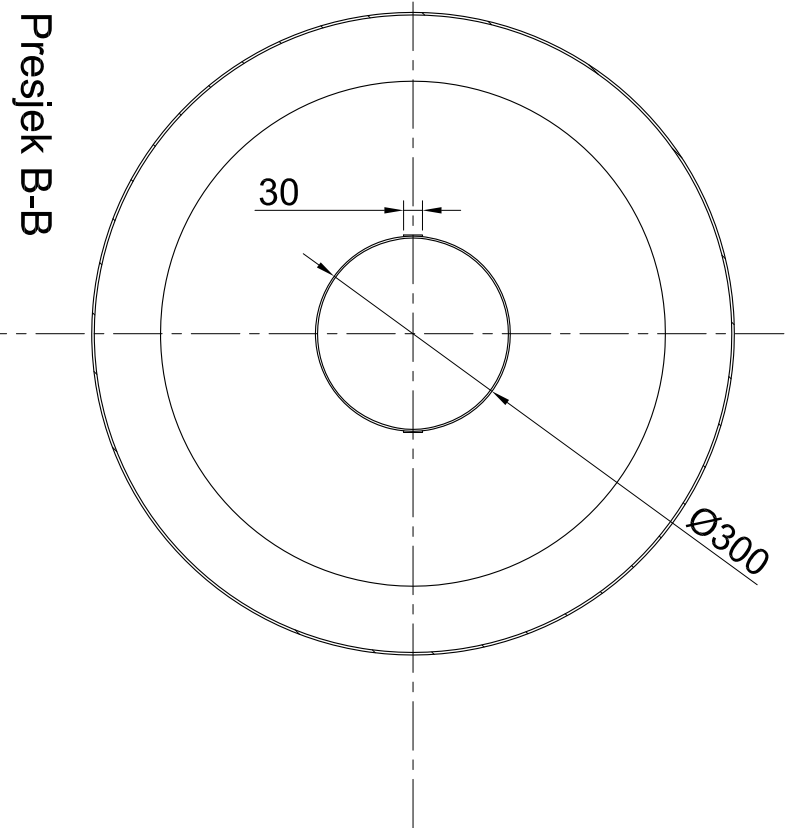
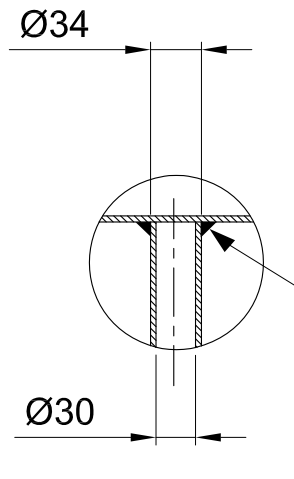
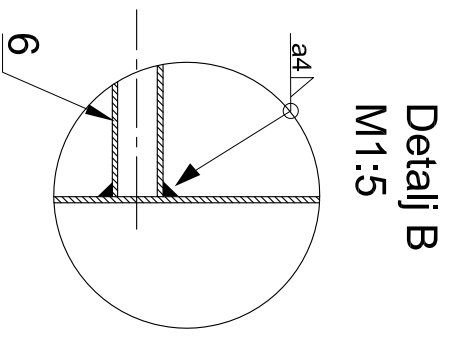
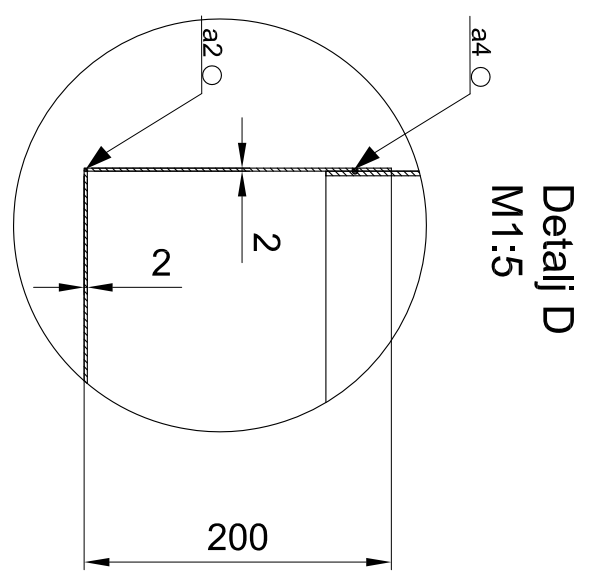
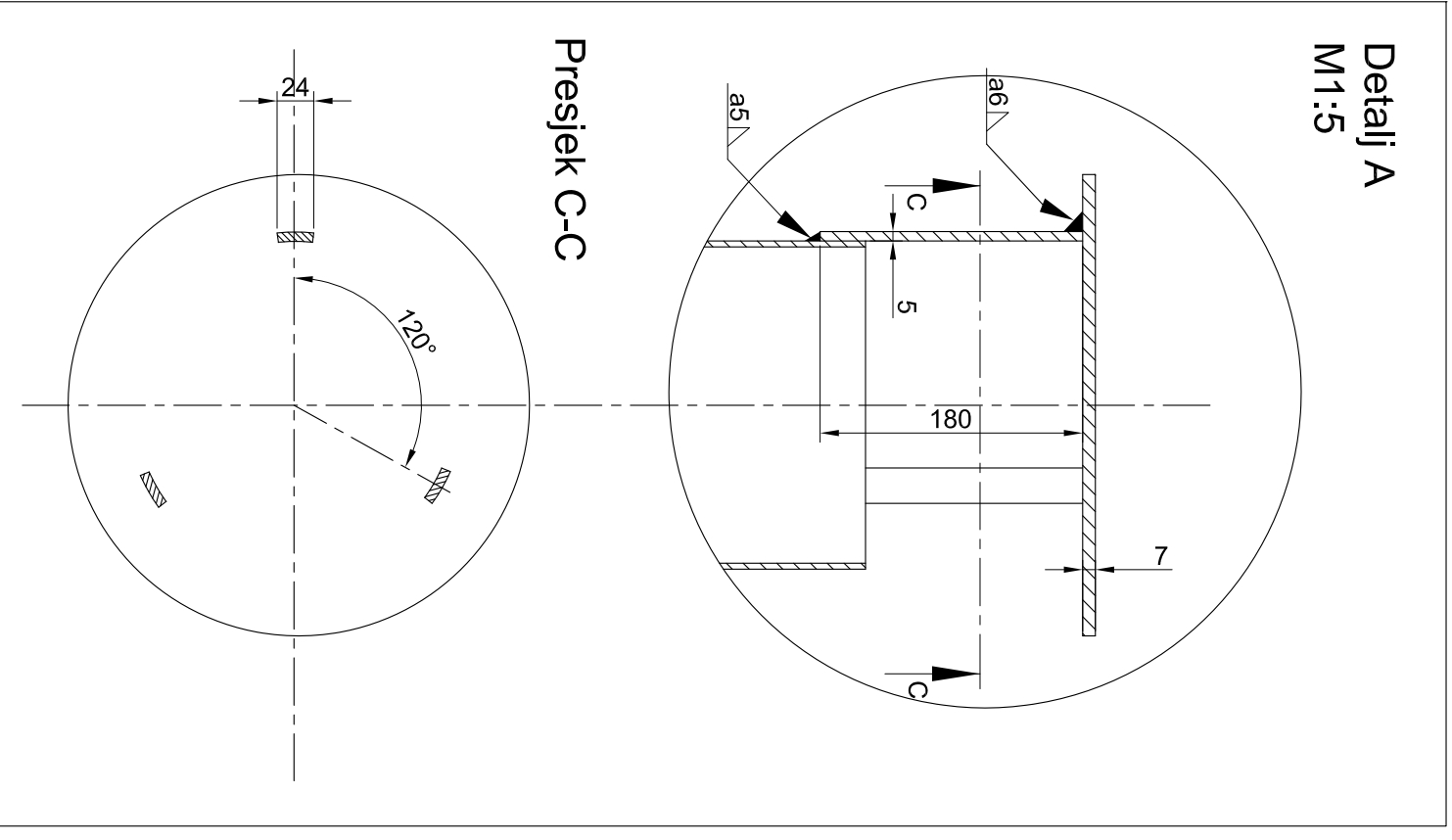
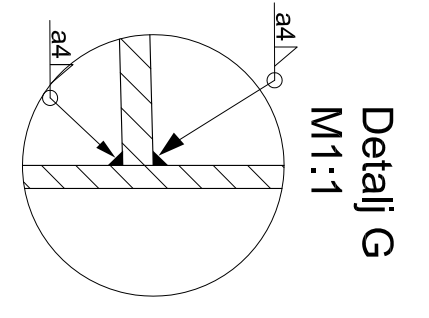
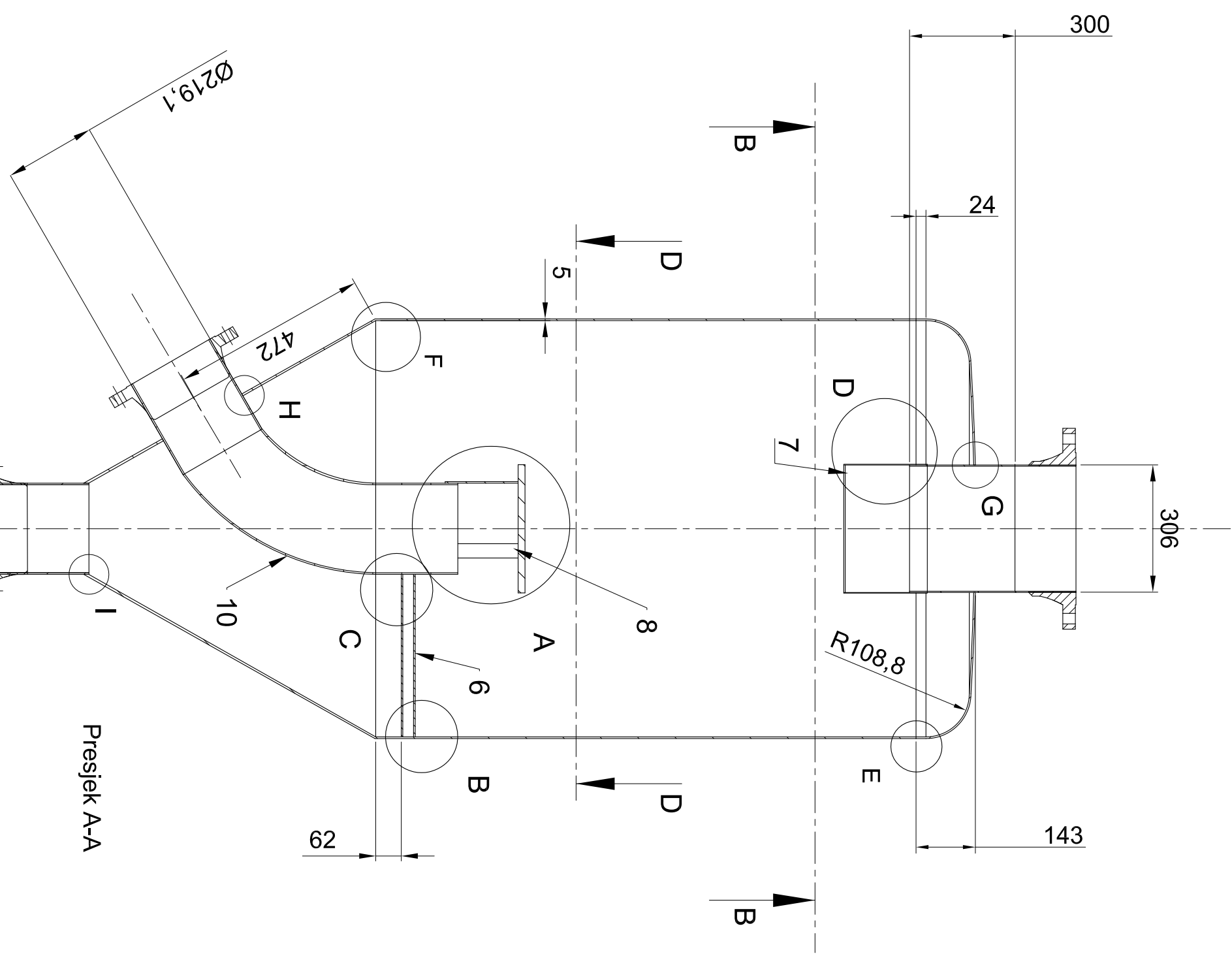
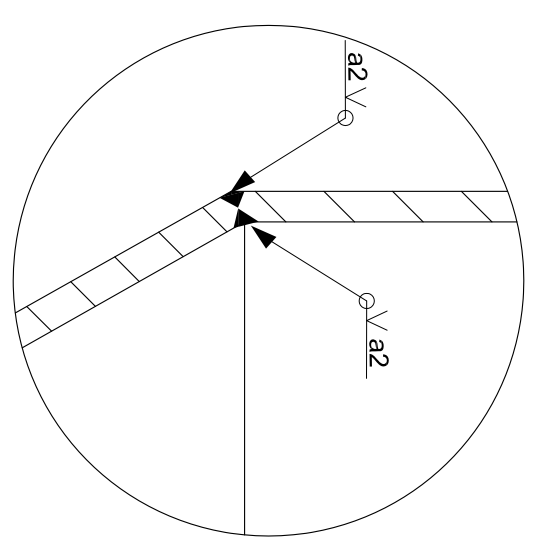
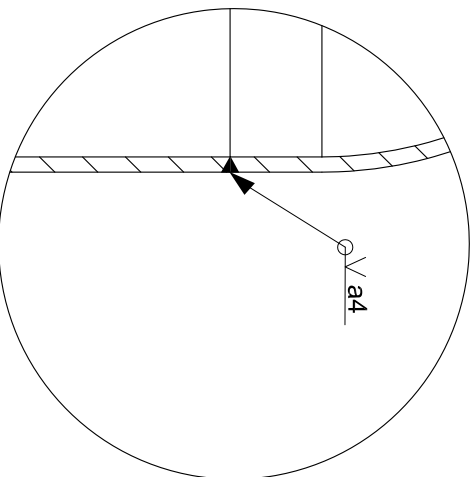
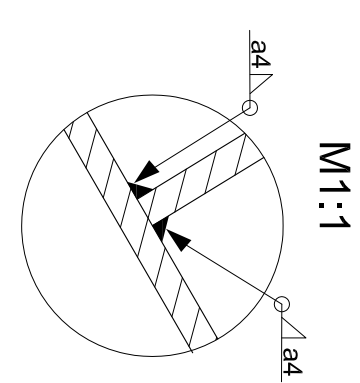
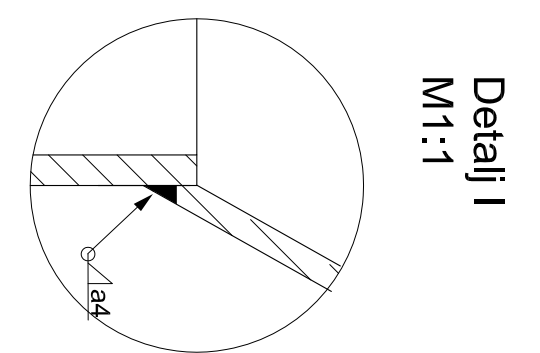
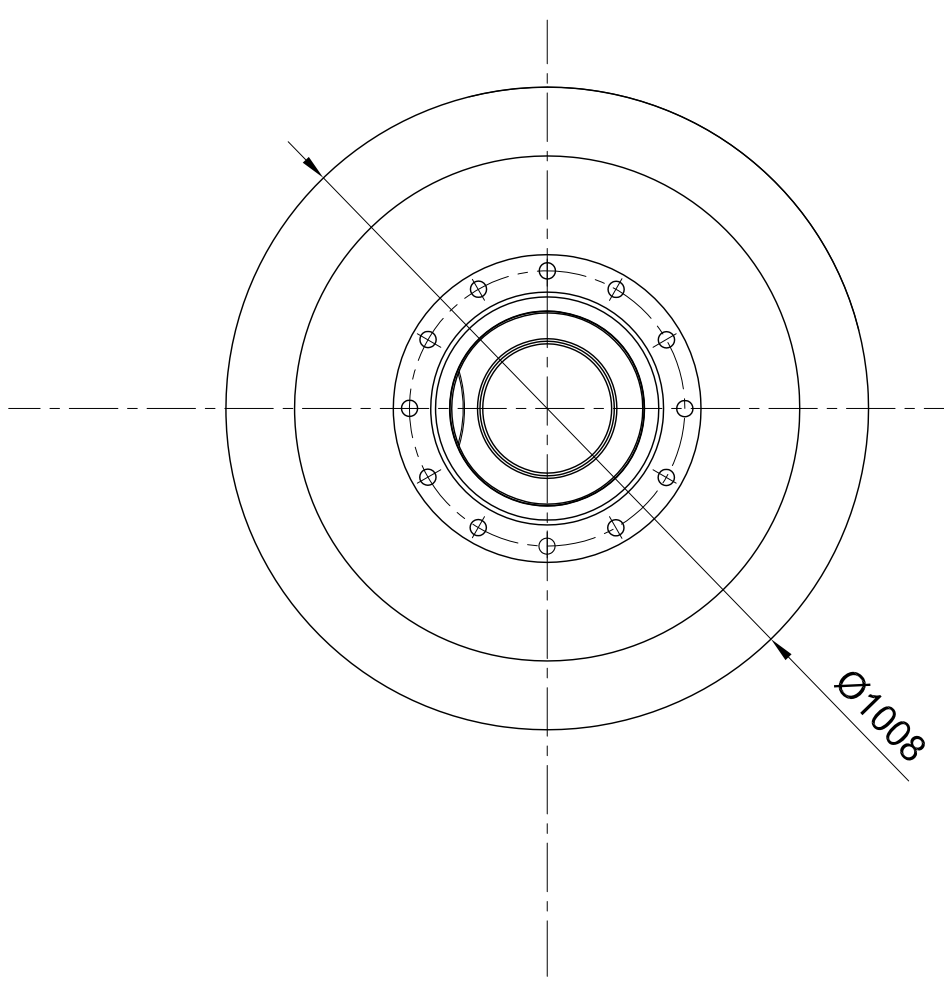
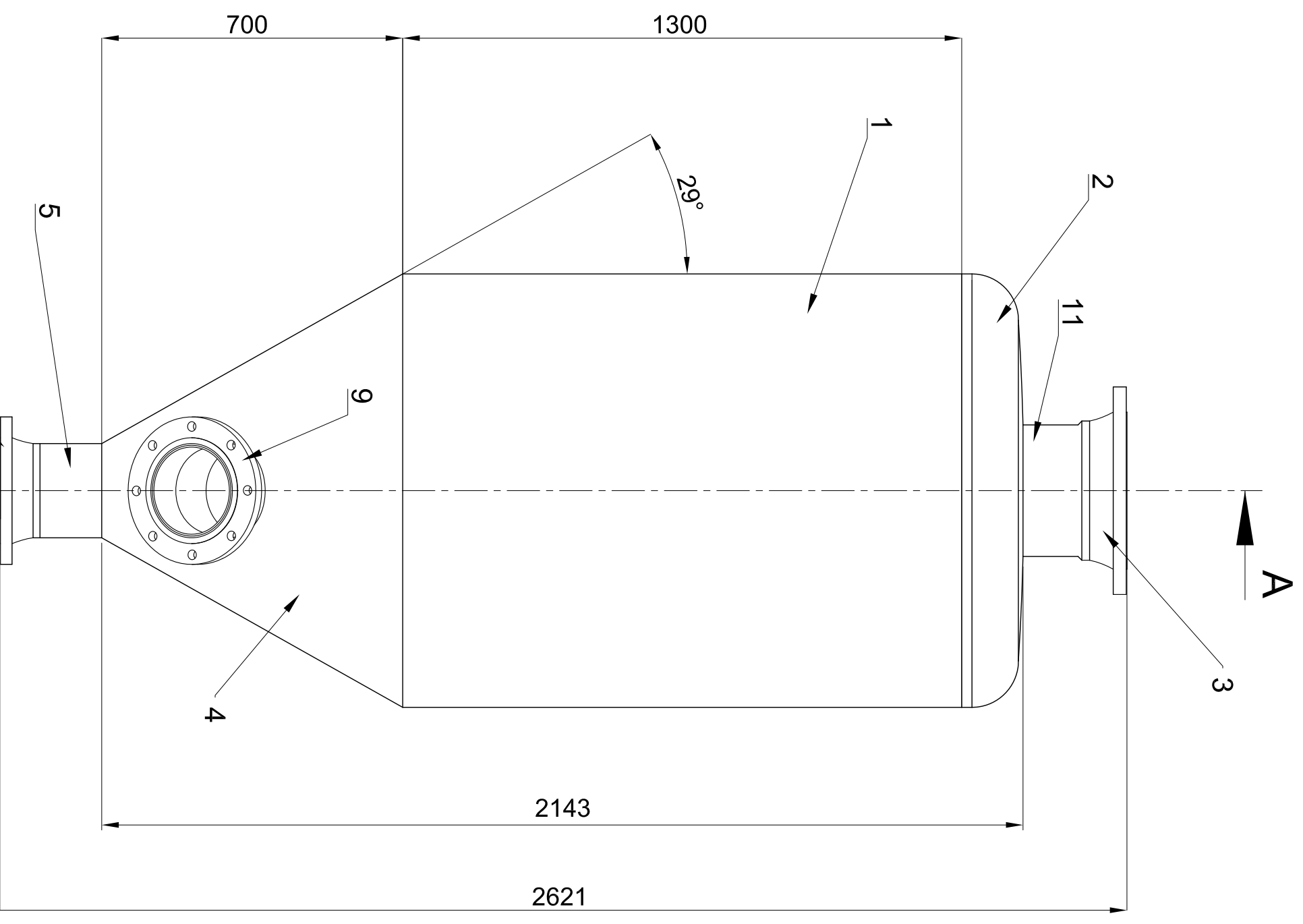
23	Pregrada u platu - donja	3	IS-14-2015	W.Nr. 1.4301	Ø616 x 2	-
22	Inox cijev držač - duži	8	IS-16-2015	W.Nr. 1.4301	Ø16 x 3551	-
21	Inox cijev držač - kraći	8	IS-16-2015	W.Nr. 1.4301	Ø16 x 2992	-
20	Pritrdnica priključka koncentrična	2	DIN 2632 PN10	W.Nr. 1.4301	-	-
19	Cilindar za pritrdnicu	1	IS-05-2015	W.Nr. 1.4301	Ø632 x 300	-
18	Pritrdnica izmjenjivača	2	IS-02-2015	W.Nr. 1.4301	Ø760 x 27	-
17	Priključak ulaska pare	1	IS-11-2015	W.Nr. 1.4301	Ø306 x 100	-
16	Pregrada	1	IS-10-2015	W.Nr. 1.4301	Ø306 x 100	-
15	Priključak kondenzata	2	IS-12-2015	W.Nr. 1.4301	Ø38 x 192	-
14	Matrica M12	32	DIN 4014	5	-	-
13	Držač pregrade - duži	18	IS-07-2015	W.Nr. 1.4301	Ø12 x 2592	-
12	Pritrdnica priključka ulaska pare	1	DIN 2632 PN10	W.Nr. 1.4301	Ø482	-
11	Inox cijev	480	IS-08-2015	W.Nr. 1.4301	Ø18 x 4196	-
10	Brta	2	DIN 9001	Klingert	Ø315	-
9	Vijak M24	40	DIN 4032	5,6	-	-
8	Podloška M24	80	DIN 125 -2-A	5	-	-
7	Matrica M24	40	DIN 4014	5	-	-
6	Pregrada u platu - gornja	3	IS-04-2013	W.Nr. 1.4301	Ø616 x 2	-
5	Cjevovna siljenka	2	IS-03-2013	W.Nr. 1.4301	Ø219,1 x 140	-
4	Priključak ulaska kondenzata	2	DIN 2632 PN6	W.Nr. 1.4301	Ø760 x 27	-
3	Podnica	2	IS-09-2015	W.Nr. 1.4301	Ø632 x 226	-
2	Plasti	1	IS-01-2015	W.Nr. 1.4301	Ø632 x 4142	-
1	Plasti	1	IS-01-2015	W.Nr. 1.4301	Ø632 x 4142	-

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Polis	Masa
Projekcija	11/2015	Ivan Stjepić	Polis	
Čež broj	11/2015	Ivan Stjepić	Polis	
Pregledao	Prof. dr.sc. D. Dović			

ISO - tolerancije	Objekt broj:	Objekt broj:	Kopija
Izmjenjivač topline	R. N. broj:		
Napomena:			
Material:	Masa -		
Naziv:			
Mjerilo original:	Izmjenjivač topline	Format: A1	Lista:
Čež broj:	IS-17-2015		Lib:



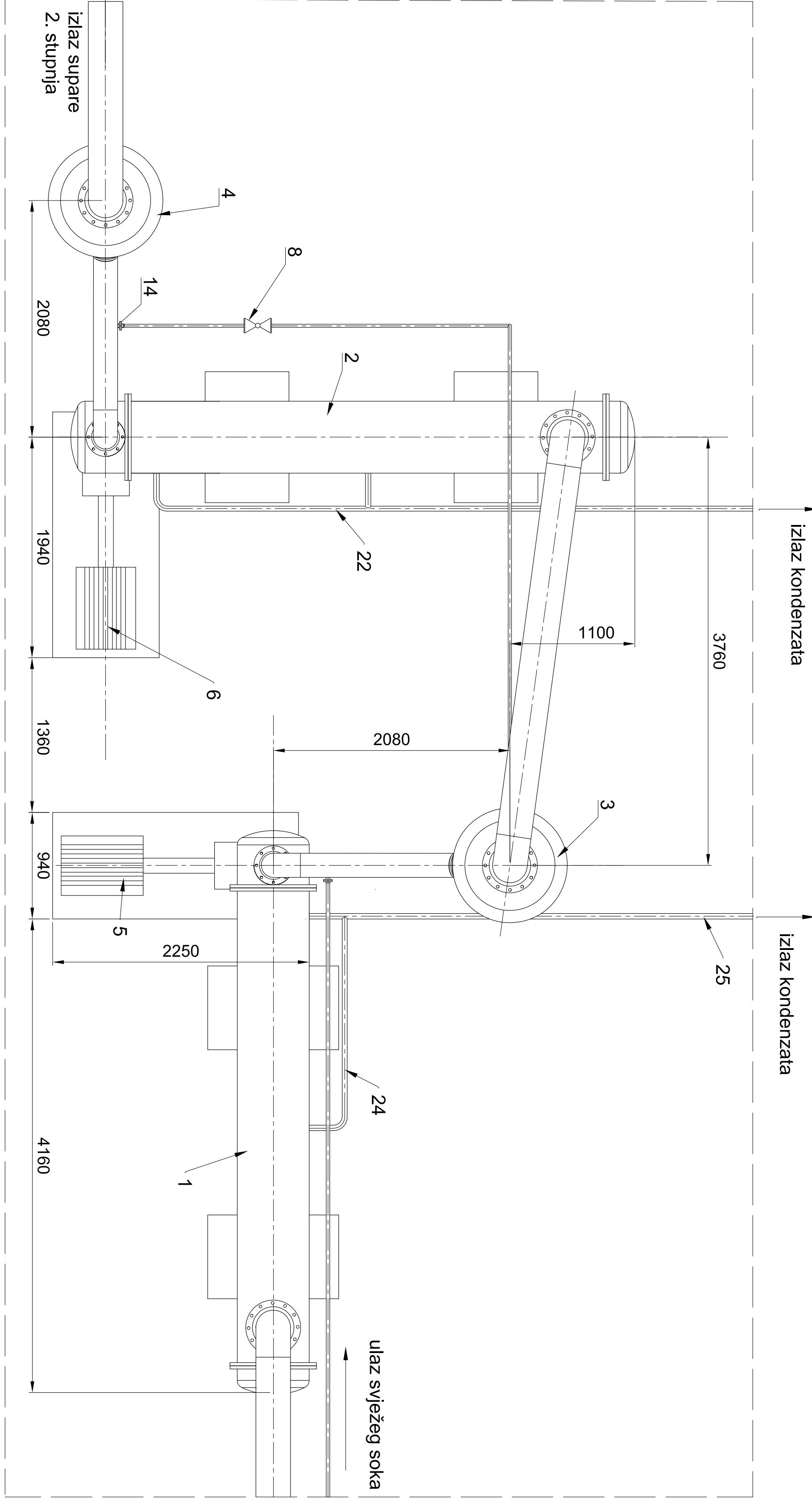
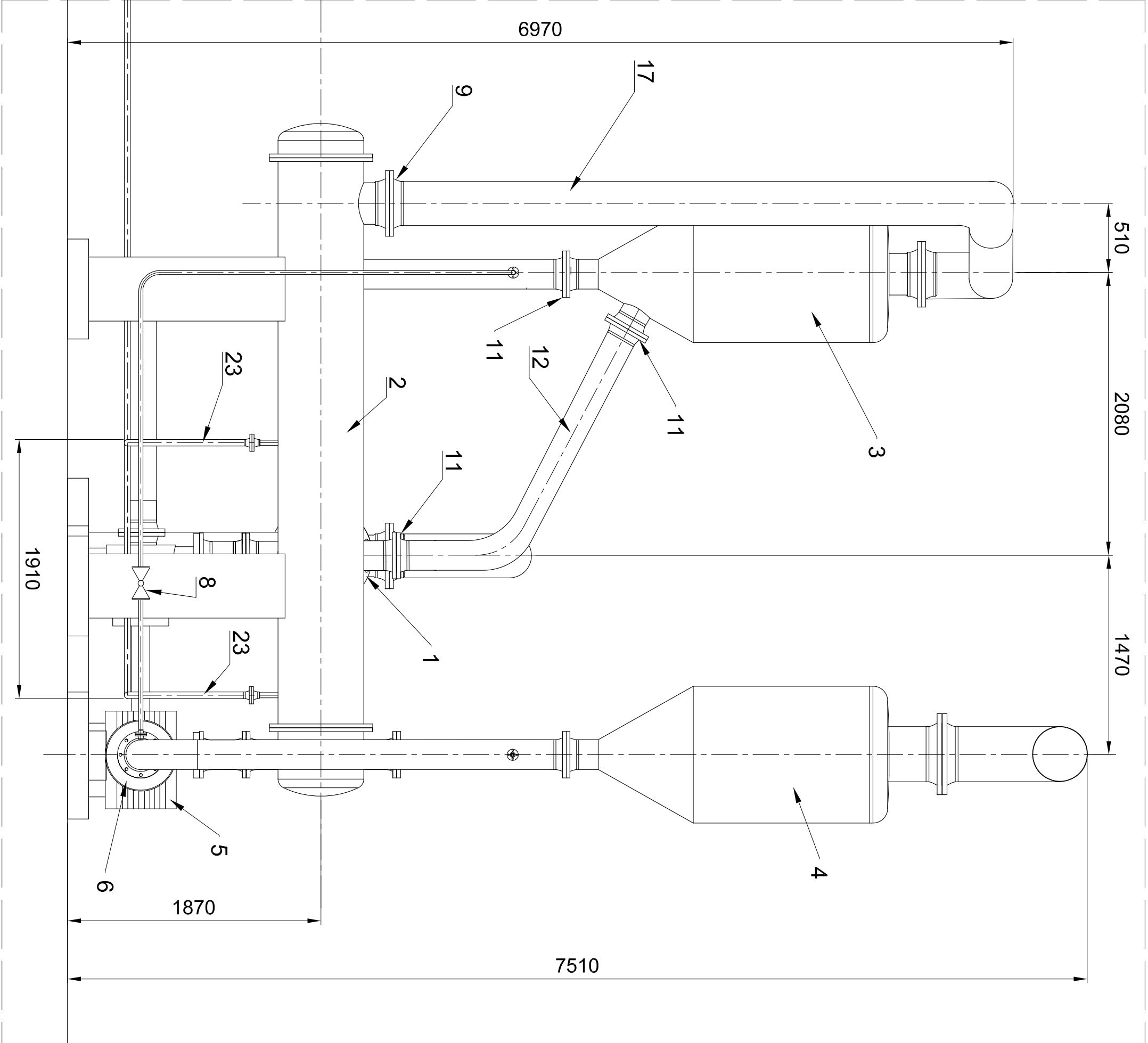
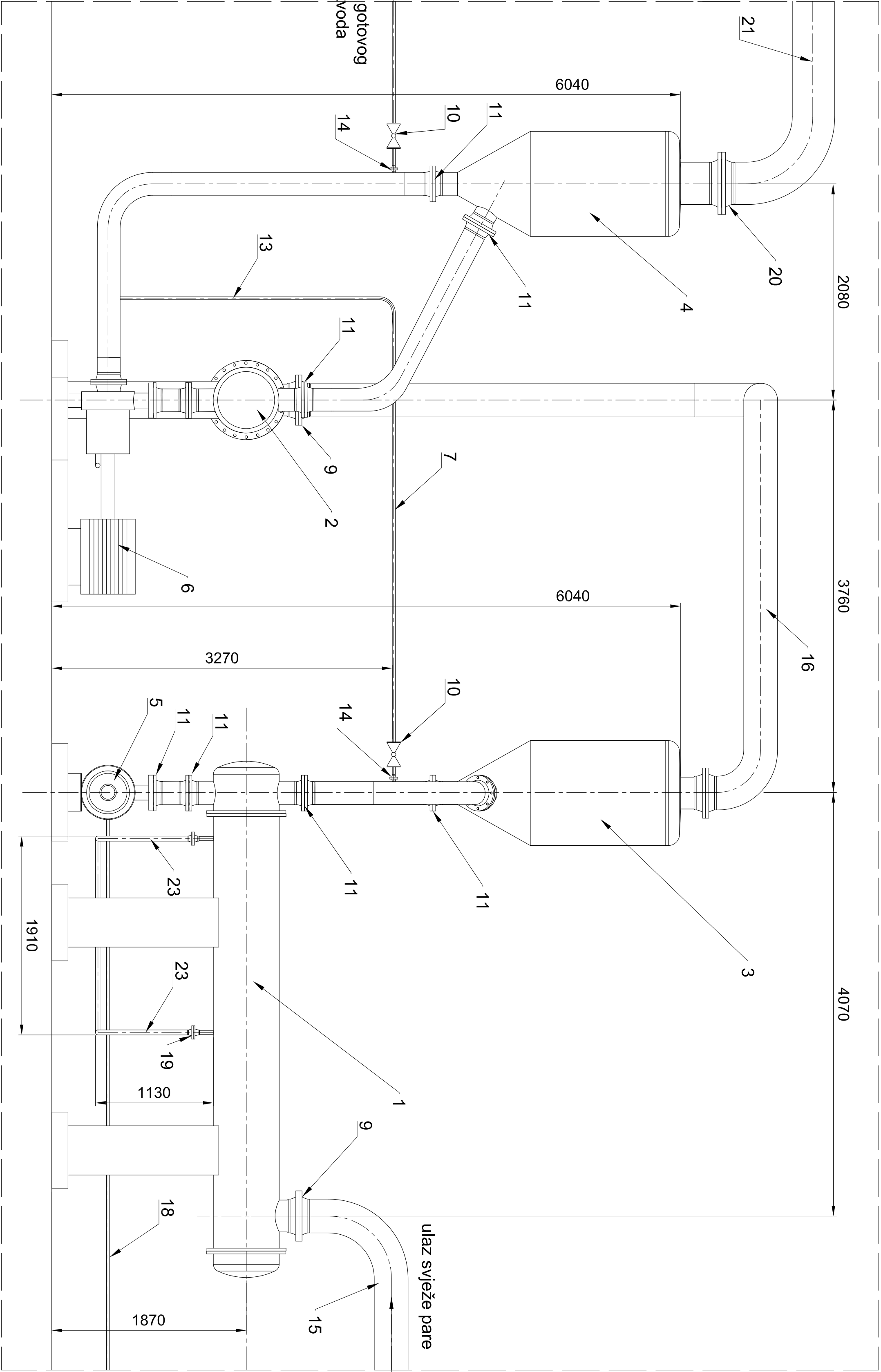
FSB Zagreb



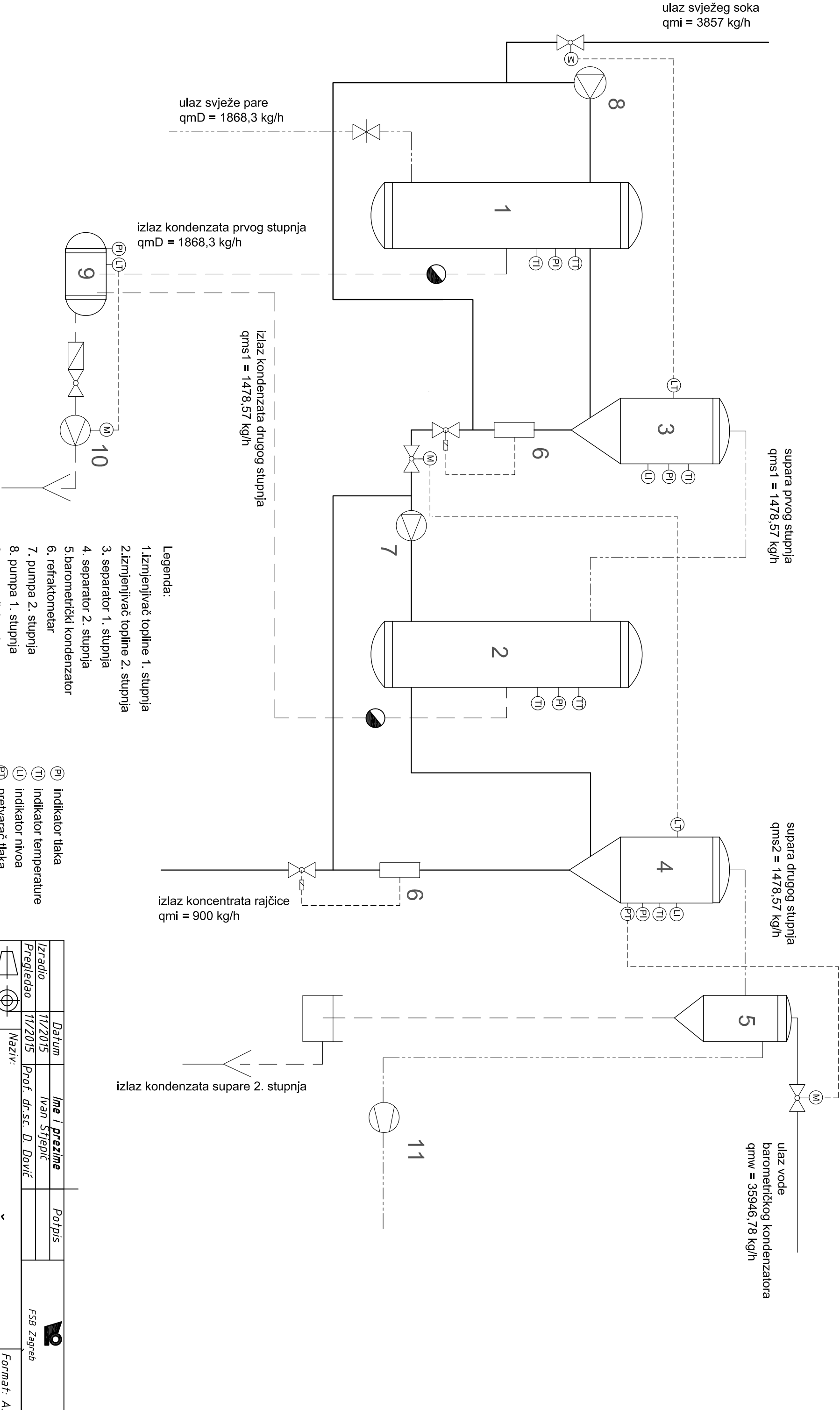
Napomena:
1. Nacrt prikazuje separator 1. stupnja.
Separator drugog stupnja jednake je izvedbe
s razlikom u veličini priključka pare na podnici.
U drugom stupnju on iznosi Ø398,4 mm


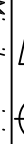
2. Sve zavare pobruniti i polirati

11	Priključak izlaska pare	1	-	W.Nr.: 1.4301	Ø306 x 300	-
10	Cijev ulaza	1	-	W.Nr.: 1.4301	Ø219.1 x 700	-
9	Prirubnice ulaska i izlaska koncentrata	2	DIN 2652 PN6	W.Nr.: 1.4301	-	-
8	Kapa ulaska koncentrata	1	-	W.Nr.: 1.4301	-	-
7	Kapa izlaska pare	1	-	W.Nr.: 1.4301	-	-
6	Cijevni držač	3	-	W.Nr.: 1.4301	Ø34 x 366	-
5	Priključak ulaska i izlaska koncentrata	2	-	W.Nr.: 1.4301	Ø219.1 x 140	-
4	Konursni plati	1	-	W.Nr.: 1.4301	Ø1008 x 700	-
3	Prirubnica priključka pare	1	DIN 2652 PN6	W.Nr.: 1.4301	-	-
2	Podnica	1	-	W.Nr.: 1.4301	Ø1008 x 143	-
1	Cilindrični plati	1	-	Čež broj	Norma	Materijal
Naziv dijela						Proizvođač (mm)
Broj naziva - code						Masa [kg]
Projektirao 11/2015 Ivan Štanić						FSB Zagreb
Čitao 11/2015 Ivan Štanić						
Pregledao 11/2015 Prof. dr.sc. D. Dović						
ISO - tolerancije						Kopija
Objekt:						
SEPARATOR						
Napomena:						Lisova:
Materijal:						
Masa: -						
Naziv:						Format: A1
Mjesto originala:						
SEPARATOR						
Čež broj:						Lisť:
M1:12						
IS-18-2015						



25	Ciljev izlaska kondenzata 1. stupnja	1	-	W.Nr.: 1.4301 Ø338 x 4212	-
24	Ciljev izlaska kondenzata 1. stupnja	1	-	W.Nr.: 1.4301 Ø338 x 1643	-
23	Ciljev izlaska kondenzata 1. stupnja	1	-	W.Nr.: 1.4301 Ø338 x 873	-
22	Ciljev izlaska kondenzata 2. stupnja	1	-	W.Nr.: 1.4301 Ø338 x 5024	-
21	Ciljev izlaska supare 2. stupnja	1	-	DN 2632 PN10W.Nr.: 1.4301 Ø540	-
20	Pritrdnica izlaska supare 2. stupnja	2	-	DN 2632 PN10W.Nr.: 1.4301 Ø540	-
19	Pritrdnica kondenzata	8	-	DN 2632 PN10W.Nr.: 1.4301 Ø720	-
18	Ciljev svježeg soka ravnice	1	-	W.Nr.: 1.4301 Ø333,7	-
17	Ciljev supare 1. stupnja	1	-	W.Nr.: 1.4301 Ø306 x 3850	-
16	Ciljev supare 1. stupnja	2	-	W.Nr.: 1.4301 Ø306 x 3300	-
15	Ciljev ulaska svježeg pare	1	-	W.Nr.: 1.4301 Ø306	-
14	Pritrdnica koncentrata	4	-	DN 2632 PN10W.Nr.: 1.4301	-
13	Ciljev medikonzentrata	2	-	W.Nr.: 1.4301 Ø333,7 x 2300	-
12	Ciljev ulaska konc. u separator	2	-	W.Nr.: 1.4301 Ø219,1 x 1900	-
11	Pritrdnica ulaska i izlaska kondenzata	24	-	DN 2632 PN10	-
10	Regulacijski elmag ventili 136-01/6396-01	2	DN 25	CL-A-V-AL	-
9	Pritrdnica priključka pare	6	DN 2632 PN10W.Nr.: 1.4301 Ø482	JORDANVALVE	-
8	Regulacijski ventili Mark 37/377- motor	1	DN 25	W.Nr.: 1.4301 Ø333,7 x 4100	-
7	Ciljev medikonzentrata	2	-	W.Nr.: 1.4301 Ø333,7	Bornemann
6	Pumpa 2. stupnja, Bornemann SLH-4G	1	-	-	Bornemann
5	Separator 1. stupnja	1	IS-16-2015	-	-
4	Separator 2. stupnja	1	IS-16-2015	-	-
3	Izmjenjivač topline 2. stupnja	1	IS-17-2015	-	-
2	Izmjenjivač topline 1. stupnja	1	IS-17-2015	-	-
1	Izmjenjivač topline 1. stupnja	1	IS-17-2015	-	-
Naziv dijela					
Broj naziva - code					
Projektirao 11/2015					Datum
Izradio 11/2015					Izradio
Pregledao 11/2015					Pregledao
Proj. dr. sc. D. Dović					Proj. dr. sc. D. Dović
Objekt broj:					Objekt broj:
ISO - tolerancije					ISO - tolerancije
Napomena:					Napomena:
Materijal:					Materijal:
Mjerilo original:					Mjerilo original:
M1:30					M1:30
Čež broj: IS-20-2015					Čež broj: IS-20-2015
Lst:					Lst:



					
	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb	
Izradio	11/2015	Ivan Stjepić			
Pregledao	11/2015	Prof. dr.sc. D. Dović			
		Naziv:		Format: A3	
Mjerilo originala		SHEMA UPARIVAČKOG POGONA		Listova:	
Crtež broji: IS-19-2015				List:	